L. A. COROMILAS

ÜBER DIE

ELASTICITÄTSVERHÄLTNISSE IM GYPS UND GLIMMER

INAUGURALDISSERTATION

DER NATURWISSENSCHAFTLICHEN FACULTAET

IN TÜBINGEN

VORGELEGT.

TÜBINGEN, 1877.
DRUCK VON H. LAUPP.

Meinem hochverehrten Lehrer Prof. E. v. Reusch, durch dessen freundliche Anregung ich die vorliegende Bestimmung der Elasticitätsverhältnisse im Gyps und Glimmer unternommen habe, spreche ich hier meinen Dank aus für die mir während der Arbeit stets erwiesene wissenschaftliche Unterstützung.

Tübingen, März 1877.

VERSUCHE ÜBER DIE ELASTICITÄT IM GYPS UND GLIMMER.

Die Cohaesions- und Elasticitätsverhältnisse an Krystallen sind bis jetzt wohl wegen der Schwierigkeiten, welche ihre Behandlung bietet, wenig untersucht worden. Die Unterschiede in der Cohaesion zeigen sich oft in der Spaltbarkeit der krystallinischen Substanzen so auffallend, dass es nicht begreiflich ist wie ihre nähere Bestimmung von den früheren Beobachtern nicht unternommen worden ist [1]). Erst vor sieben Jahren hat Sohncke [2]) genauere Versuche über die Cohaesion in verschiedenen Richtungen des Steinsalzes angestellt und natürlich sehr grosse Unterschiede gefunden. Es gelang ihm jedoch bloss die Zugfestigkeit nach der Richtung der Würfel- und der Granatoëderflächennormale einigermassen zu bestimmen. Die übrigen zwei Richtungen parallel der Pyramidenwürfelflächennormale und der Octaëderflächennormale ergaben sehr unbefriedigende Resultate; er hat für sie nur eine untere Gränze geben können. Es ist überhaupt sehr schwer, ähnliche Versuche anzustellen, denn man kann nie von der vollkommenen Homogeneität der Substanz sicher sein, der Riss erfolgt immer an einer

1) Man hat zwar früher die relative Härte der Krystalle ganz roh bestimmen wollen und neuerdings hat Exner umfangreiche Beobachtungen an geschliffenen Krystallflächen über ihre Härteverhältnisse angestellt; allein der Vorgang des Ritzens einer Fläche ist so complicirt, das Verhältniss, in welchem die Härte zur Cohaesion steht, so verwickelt, dass man daraus nichts Bestimmtes schliessen kann.

2) Poggend. Annal. CXXXVII. 177.

Stelle, welche durch irgend eine Störung einen kleineren Widerstand als die benachbarten Theile gegen die zerreissende Kraft zu leisten im Stande ist. Von sehr grossem Einfluss ist auch die Beschaffenheit der Oberflächenschicht; die Störungen und Verschiebungen, welche das Sägen und Feilen bei der Herstellung der Säulen verursachen, sind um so schlimmer als man sie gar nicht in Rechnung ziehen kann.

Herr Prof. Reusch [1]) hat längst die merkwürdige Eigenschaft, welche die Granatoëderflächen des Steinsalzes besitzen, nämlich sich gegen einander bei einem Druck zu verschieben, beobachtet. Wenn man quadratische Säulen in der Richtung der Würfelflächennormale einem starken Drucke unterwirft, so biegen sich diese, eine Erscheinung, welche dem innern Gleiten der Theilchen längs dieser Flächen zuzuschreiben ist. Aehnliche Säulen nach verschiedenen Richtungen hergestellt, habe ich zwischen zwei Lederstücke in eine Presse gebracht; der Unterschied ist gross. Diejenigen Säulen parallel der Dodekaëderflächennormale zeigten nach starkem Drucke eine sehr kleine Biegung; in diesem Falle sollte eine Verschiebung nach den Würfelflächen stattfinden. Die Säulen parallel der Oktaëderflächennormale ergaben keine besseren Resultate, ähnlich diejenigen der Pyramidenwürfelflächennormale.

Bei den drei letzterwähnten Säulengattungen sah ich oft beim Pressen glänzende Würfelflächen entstehen; das will heissen, dass diese Flächen sich bei der Verschiebung einigermassen trennen: ein Gleiten findet nicht

---

1) Pogg. Annalen CXXXII. 441. Herr Prof. Reusch hat solche Flächen »Gleitbrüche« genannt. Man hat aber seitdem das Wort vielfach verwendet und oft nicht sehr passend; nur beim Steinsalz und Kalkspath ist eine ähnliche Verschiebung nachweisbar.

statt. Ebenso kamen solche, als man die Presse aufmachen wollte, plötzlich zum Vorschein, weil dies nie ohne kleine Störungen, doch gross genug um das Gleichgewicht vollends zu zerstören, geschehen kann.

Um das Verhalten der Kraft, welche ein Gleiten bedingt, näher zu verfolgen, sägte ich nach einem Vorschlag meines verehrten Lehrers Prof. Reusch, aus 5—6 mm. dicken quadratischen Steinsalztafeln rechtwinklige Platten, deren Seitenflächen parallel den Diagonalen der Tafel waren. Dann wurde von zwei nebenliegenden Seiten 5—6 mm. von einer Ecke aus soviel weggenommen, bis der Querschnitt an dieser Stelle ungefähr 30 mm. betrug [1]). So bekommen die Stücke die Form wie Taf. I. Fig. 1 zeigt; eine Dodekaëderfläche ist senkrecht auf ihrer Breitenseite und die Verschiebung erfolgt nach der grösseren Diagonale des Rombus. Die Platten wurden zwischen den Stücken a befestigt (Fig. 2); die Messingplatte bb hinderte den hintern Theil dem Drucke nachzugeben. Ein Hebelarm c, welcher um eine Axe d, in derselben Höhe wie der Auflegepunkt e rotiren konnte, trug an der Stelle, wo der Druck ausgeübt werden sollte, einen eisernen Bügel, an welchem eine Schale aufgehängt ward; mit dem Auflegen von Gewichten wurde aufgehört, sobald ein Sprung sich zeigte.

No	Querschnitt Qmm.	Gramme	Auf 1 Qmm. reducirt.
1	34,6	21550	623
2	34,4	24300	707
3	33,8	22800	675
4	30,7	17550	572
5	30,6	21050	688
6	29,5	17800	610

1) Die sorgfältigere Bearbeitung geschah auf einer mit feinem Glaspapier überzogenen Glasplatte, was vortheilhafter als das einfache Feilen ist.

Die Uebereinstimmung ist keine sehr erhebliche [1]), doch grösser als bei den Versuchen von Sohncke [2]) für die Zugfestigkeit nach der Granatoëderflächenormale. Es ist bemerkenswerth, dass er nie diese Flächen hat erhalten können, während man hier ganz deutlich von der Druckstelle aus glänzende Dodekaëderflächen, freilich ein bischen gekrümmt und mit einer gewissen Neigung nach der Würfelfläche, auftreten sah. Nimmt man das Mittel aus diesen sechs Beobachtungen, so sieht man dass: die Abschiebefestigkeit in den Granatoëderflächen nach der grösseren Rombendiagonale ungefähr 646 Gr. auf 1 Qmm. beträgt. Sohncke hat für die Zugfestigkeit parallel der Normale dieser Fläche jedenfalls mehr als 1162 gefunden [3]). W. Voigt [4]) fand ungefähr 1350 Gr.

Savart [5]) ist der erste gewesen, welcher die Elasticität der regelmässig krystallisirten Körper untersucht hat;

1) Einige andere Versuche sind völlig misslungen; statt einer Dodekaëder sah man einfach das Stück nach einer Würfelfläche bei ganz niedrigen Gewichten zerreissen. Wir schliessen diese aus.

2) Pogg. Ann. l. c. p. 184.

3) Herr Prof. Bauer hat früher ähnliche Versuche über die Abschiebefestigkeit des Steinsalzes und zwar nach der grössern und kleinern Diagonale angestellt, indem er Säulen von ungefähr ein Qcm. Querschnitt, deren Axe parallel der Granatoëderflächennormale war, an einem Ende fest einklemmte und diese dicht an der befestigten Stelle mit Gewichten mittelst einer Schale belastete, bis eine vollkommene Abschiebung eintrat. Eine Reihe gab im Mittel 671 Gr. für das qmm. parallel der grössern Diagonale u. 788 parallel der kleinern. Die Dimensionen der Säulen waren ungünstig, wesshalb die Resultate weniger gut mit einander stimmen. Von Interesse ist dabei die Beschaffenheit der erhaltenen Flächen. Diese haben eine auffallende Aehnlichkeit mit dem Bruch der glasigen Substanzen, sie sind sehr erheblich muschelig; man bemerkt eine Neigung zur Abrundung, an manchen Stellen feine Streifen mit der Richtung der abschiebenden Kraft parallel laufend. Diese Streifen kann man jedoch nicht als eine Treppe, gebildet von Hexaëderflächen, ansehen. Das Steinsalz zeigt oft von Haus aus ähnliche Granatoëderflächen.

Alle diese Versuche, wie die früheren auch, leiden sehr an Genauigkeit und man kann von einer Bestimmung nicht sprechen.

4) In.-Dissert. Leipzig p. 50.

5) Pogg. Annalen XVI. p. 206.

er beobachtete die radialen Klangfiguren kreisrunder krystallinischer Scheiben. Bei dem Mangel einer mathematischen Theorie [1]) der transversalen Schwingungen kreisrunder krystallinischer Platten, musste er sich begnügen, die erhaltenen Resultate mit denen eines drei Elasticitätsaxen besitzenden Körpers, z. B. Holz, welches er früher untersucht hatte, zu vergleichen. Aber auch ohne dies konnte er aus der Gleichheit der Knotenlinien über die Gleichwerthigkeit, in elastischer Hinsicht, der verschiedenen Flächen eines Krystalls, urtheilen. Er fand nun das allgemeine Ergebniss, dass krystallographisch gleichwerthige Richtungen auch elastisch sich als solche erweisen. Aus der ausgezeichneten Lage, welche je drei abwechselnde Pyramidenflächen in den Klangfiguren von parallel der Axe des Bergkrystalles geschnittenen Scheiben einnehmen, schloss er, dass ein Grundunterschied zwischen je drei solcher Flächen bestehen sollte und betrachtete die Gestalt der Knotenlinien als ein Mittel, um die Spaltflächen, geringe Unterschiede in der Cohaesion zeigender Substanzen des romboëdrischen Systems, zu ermitteln [2]). Savart ist nämlich durch seine Versuche zu dem Schlusse gekommen, dass alles in den Klangfiguren von den Spaltungsrichtungen des Krystalls abzuhängen scheine. Dass die Kraft, welche man mit dem Namen

---

1) Die Differentialgleichungen der Bewegung kreisrunder Scheiben sind bekanntlich für den Fall des Kreises von Kirchhoff integrirt worden. Diejenigen einer krystallinischen Scheibe sind von Gehring »De aequationibus differentialibus quibus aequilibrium et motus laminae crystallinae definiuntur.« In.-Dissert. Berlin 1860 aufgestellt worden; sind aber nicht integrirbar.

2) Savart nimmt den Bergkrystall, und aus guten Gründen, als ein Diromboëder an. Da jedoch alle sechs Pyramidenflächen sich gegen das Licht gleich verhalten, suchte er eine versteckte Verschiedenheit der zwei Flächengruppen, welche übrigens auch krystallographisch sich von einander unterscheiden, zu entdecken. Das eine schliesst begreiflicher Weise aber das andere nicht in sich.

Cohaesion zu bezeichnen pflegt, und die Elasticität verwandt sind, liegt auf der Hand: ihren Zusammenhang kann man jedoch aus allen den bisherigen Beobachtungen nicht ersehen.

Die Untersuchung des französischen Physikers ist aber auch in anderer Hinsicht sehr lehrreich; nach seinen Bestimmungen, welche mit den spätern direkten Messungen übereinstimmen, besitzt der Kalkspath drei Systeme von Elasticitätsaxen, innig mit seiner romboëdrischen Gestalt verknüpft: es sind diese je eine stumpfe Kante und die zwei Diagonalen der gegenüberliegenden Fläche. Die kleine ist die Axe der kleinern, die grosse die der mittlern Elasticität; sie sind symmetrisch um die Axe gelegen und wie man sieht bloss je zwei stehen senkrecht auf einander. Trotz des innigen Zusammenhanges, welcher zwischen der Lage der Hauptaxe und den Klangfiguren zu bestehen scheint, fällt also keine ausgezeichnete Elasticitätsrichtung mit ihr zusammen wie man es gern haben möchte[1]). Und man kann nicht etwa die hemiëdrische (wie man zu sagen pflegt) Gestalt des Kalkspaths gegen das Ergebniss einwenden; denn mit dem Quarz, mit welchem vorzugsweise die Versuche angestellt worden sind, verhält es sich ebenso[2]). Bei ihm gibt es auch nur drei Systeme von ausgezeichneten Elasticitätsrichtungen, welche mit den Kanten- und Flächendiagonalen des Grundromboëders zusammenfallen. Der einzige Unterschied ist, dass beim Quarz die Axe der

---

1) Vergl. Groth, Physikalische Krystallographie p. 336, wo die Sache für die holoëdrischen Formen, also für die ganz geringe Anzahl als selbstverständlich angesehen wird.

2) Der Bergkrystall, mit welchem Savart experimentirte, ist zwar auch hemiëdrisch und zwar trapezoëdrisch tetartoëdrisch; er besitzt aber einen höheren Grad von Symmetrie.

kleinsten Elasticität die stumpfe Kante, die grosse Diagonale die der mittlern und die kleine die der grössten Elasticität ist.

Das Verfahren von Savart vervollständigte Ångström[1]) indem er die Scheiben von der Mitte aus schwingen liess; die so erhaltenen Kurven geben direkt die Lage der Elasticitätsaxe. Er hat jedoch bloss den Feldspath und Gyps untersucht, bei welchem die Herstellung solcher Scheiben leicht ist.

Mit dem Kalkspath hat sich in letzter Zeit Herr Baumgarten[2]) beschäftigt, indem er die Biegungen von Stäben aus dem durch eine Kante gelegten Hauptschnitt in verschiedenen Richtungen geschnitten direkt mass. Seine Resultate stimmen mit den Angaben von Savart überein; keine ausgezeichnete Elasticitätsrichtung fällt mit der Hauptaxe zusammen: der Modulus ist am grössten parallel der Kante, am kleinsten parallel der kleinen Diagonale der Romboëderfläche.

Herr Baumgarten fand bei seinen Versuchen, dass die Biegungen nicht proportional den Gewichten wachsen; dies ist wohl hauptsächlich[3]) dem Rückstande zuzuschreiben, woher aber dieser kommt, ist nicht ohne Weiteres zu erklären.

---

1) Pogg. Ann. LXXXVI.

2) Pogg. Ann. CLII.

3) Die mathematische Formel für die Biegung prismatischer Stäbe wird abgeleitet, indem man annimmt, dass zwei unendlich nahe, ursprünglich parallele Ebenen einen Winkel mit einander nach der Biegung bilden. Die Integration wird dann über die ganze Dicke ausgedehnt, indem man die abstossenden Kräfte bei den untern Schichten gleich wie die anziehenden für den obern Theil wirkend annimmt. Für kleine Biegungen zeigt sich diese Annahme richtig; die anziehenden und abstossenden Kräfte jedoch, welche die Lage der Molekeln bedingen, sind zwei verschiedene Funktionen des bezüglichen Abstandes, sodass, wenn der Winkel des Biegungspfeiles gross wird, nicht mehr sicher sein kann, ob die Formel noch gilt. Bei den Krystallen ist alles das natürlich viel verwickelter als bei den amorphen Körpern.

Mit dieser Art von Erscheinungen hat sich vorzugsweise Herr W. Voigt [1]) in seinen sehr ausgedehnten und sorgfältigen Untersuchungen über die Elasticitätsverhältnisse des Steinsalzes beschäftigt, und eine Reihe von wichtigen Sätzen abgeleitet. Was die Elasticität des Salzes betrifft, so bestätigen seine Resultate die Richtigkeit der von Prof. Neumann entwickelten Theorie, dass nämlich die Elasticität in einem Krystall von seinen Symmetrieverhältnissen abhänge.

Herr Prof. Groth [2]) hat auf einem andern Weg die Elasticität des Steinsalzes untersucht, indem er die Schallgeschwindigkeiten in dünnen Steinsalzstäben, nach verschiedenen Richtungen ausgeschnitten, mit einander verglich. Seine Resultate stimmen einigermassen mit denen von Voigt überein.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Elasticitätsverhältnisse im Hauptblätterdurchgang des Gypses und des Glimmers bestimmt werden.

GYPS.

Der Gyps ist einer der Körper, deren Flächen eine ausgeprägte Neigung sich abzurunden haben, was sehr die Messungen erschwert [3]). Obwohl man oft dies an glänzenden Flächen, wegen der Streifung als treppenartiges Auftreten von Flächen derselben Zone auffassen

1) In.-Dissertat. Leipz. p. 31.

2) Pogg. Anmerk. VII. p. 115.

3) Die letzten stammen von Hessenberg; der angegebene Winkel von a t ist jedoch um mehr als 30′ von dem von Neumann angegebenen verschieden; und die meisten Gypskrystalle stimmen mit dieser letzten Angabe überein.

kann, so ist diese Annahme doch nicht für alle Fälle wahrscheinlich. Vielmehr die auffallende Regellosigkeit vieler Begränzungsflächen deutet nicht auf eine krystallographische Gesetzmässigkeit, sondern auf ein rohes äusseres Einwirken hin. Nichtsdestoweniger ist das Studium des Gypses höchst belehrend, weil er Erscheinungen zeigt, welche einiges Licht auf die Bildung der Krystallflächen werfen können.

Zu seinen merkwürdigsten Eigenschaften gehören die rauhen äussern und die innern Flächen. Was die ersteren anbelangt, so befinden sie sich meist in Zonen, auf welche bis jetzt keine besondere Aufmerksamkeit gelegt worden ist (wohl wegen der Unmöglichkeit einer genaueren Messung). Besonders oft kommt eine Fläche τ (305), von Herrn Prof. Reusch [1]) zuerst beobachtet, vor; sie macht einen Winkel von 9°53′ mit d und tritt als Begränzungsfläche an den Zwillingen von Bologna auf, so dass diese eine pfeilartige Form annehmen. Sie ist oft sehr fein drusig-rauh und zeigt eine stark ausgeprägte Streifung. Beim Aschersleben er ist sie ein bischen glänzender, die Streifung aber fehlt nie. Diese Fläche sieht man nun oft die Krystalle ihrer ganzen Länge und Dicke nach durchsetzen; und nicht nur diese, sondern wie an spätern Stücken zu sehen war, eine ganze Reihe zum Theil besserer Flächen derselben Zone τ/b traten als innere Flächen auf. Schärfer ausgebildet waren an Krystallen von Aschersleben die Flächen der Zone ε/b; ε selbst setzte sich oft im Krystall als innere Fläche mit einer Art von Knickung fort. Diese innern Flächen erkennt man leicht an ihrer Rauheit, welche mit der Durch-

1) Herr Prof. Reusch hat die Güte gehabt mir diese noch nicht veröffentlichten Beobachtungen mitzutheilen.

sichtigkeit des Krystalls sich im Gegensatz befindet. Der Gyps von Bologna zeigt oft undurchsichtige Flecken, welche den Krystall scheinbar ganz regellos trüben. Bei gehöriger Neigung ersieht man jedoch, dass es nichts anderes als innere Flächen sind, welche ganz milchig aussehen: nur selten kann man ein reflectirtes Bild wahrnehmen. Alle diese Flächen sind ebenso scharf wie die äussern Begränzungsflächen derselben Krystalle; obwohl wegen der Grösse der Gypsspathstücke eine genaue Messung nicht möglich, so kann man sich doch leicht überzeugen, dass sie krystallographischen Flächen entsprechen, theils neuen, theils schon beobachteten. So sieht man durch einen zolldicken Krystall viele Flächen parallel zu i (gewiss eine seltene Fl.) gehen und dabei ganz scharf bleiben; ebenso zahllose parallel beiden Flächen des Augitpaars (569) in der Zone von β (welche bei dem Gyps von Bologna so oft vorkommt) mit b. Manchmal sieht man ein paralleles System im Krystall anfangen, bis an den Rand reichen, wo es eine äussere Fläche bildet, und nicht selten treten so viele solcher Flächen auf, dass der Körper das krystallinische Aussehen verliert. In Taf. II. Fig. 1 ist ein Krystall von Bologna mit diesen inneren Flächen abgebildet.

Die Identität der äussern und inner Flächen ist also festgesetzt. Bei ihrer näheren Betrachtung drängt sich aber die Frage auf: wie sie denn etwa entstanden sind. Soviel liegt ausser Zweifel, dass sie Störungen ihre Entstehung verdanken, und dass man eine stetig wirkende Kraft annehmen muss, um diese Schärfe und das parallele Auftreten von so vielen in solcher Ausdehnung die Krystalle unterbrechenden Flächen, und zwar meist schief gegen den Hauptblätterdurchgang geneigt, zu erklären.

Man hat viele Theorieen der Krystallstruktur seit

den rudimentären von Descartes, Swedenborg [1]) bis zu den geometrischen und mechanischen von Bravais [2]), Frankenheim [3]), Jordan [4]), Sohncke [5]), Wiener [6]), den chemischen von Ampère, Gaudin [7]) aufgebaut. Alle diese Neuern stimmen leidlich mit den allgemeinen Ergebnissen überein, so dass man in Verlegenheit kommt, wenn man die Richtige unter ihnen wählen will. Bis jetzt aber hat sich die von Gaudin vor etwa 40 Jahren aufgestellte, auf der Gestalt der Moleküle fussende chemische Auffassung besonders fruchtbar erwiesen. Und es gibt gewisse Erscheinungen, welche unbedingt auf die Form der Moleküle hinweisen, wie z. B. die jedem einzelnen Körper eigenen Winkel und Flächen. Gaudin nimmt die Moleküle als regelmässig aus Atomen zusammengesetzte Aggregate an, und sucht diejenige Combination zu finden, bei welcher alle sich in stabilem Gleichgewicht gegen einander halten können. Ausser wenigen Ausnahmen [8]) ist diese nur eine ganz bestimmte. Von da ausgehend, sucht er die Stellung, welche eine stabile Lagerung der Moleküle möglich macht, und gelangt so z. B. für Feldspath zu Flächenwinkeln, welche von den Beobachteten nur um etliche Minuten abweichen [9]).

---

1) Prodromus principiorum rerum naturalium.

2) Comptes rendus XXIX. J. de l'école Polytechn. XIX. 1850.

3) Pogg. Annalen XCVII.

4) Annali di Matematica T. II.

5) Pogg. Annal. CXXXII. Borch. Journal LXXVII. Pogg. Ann. E. Bd. VII. p. 337.

6) Die Grundzüge der Weltordnung. Leipz. und Heidelb. 1863.

7) In verschied. Abhandl. in den Comptes rendus erschienen; ein Grundriss seiner Theorie in »L'Architecture du monde des atomes. Paris 1873«. Die erste Idee dieser Theorie stammt von Ampère.

8) Wie z. B. für die trapezoëdrische Tetartoëdrie und einige Fälle des Dimorphismus etc.

9) Comptes rendus 1868. 2. p. 889.

Denken wir uns einen in Krystallisation begriffenen Körper und nehmen an, dass dies unter möglichst ruhigen Umständen geschehe — d. h. z. B. dass der Unterschied der lebendigen Kraft der benachbarten Moleküle ein äusserst geringer sei, dass die Lösung ganz rein und von dem Einflusse irgend einer andern Kraft ferngehalten, sowie auch von akustischen Schwingungen etc. etc. — Wenn es jetzt möglich wäre, den Vorgang plötzlich nach allen Seiten zu verhindern, so ist die wahrscheinlichste Annahme die, dass wir den Körper mit allen seinen möglichen Flächen erhalten hätten; und ihre relative Ausdehnung wäre ein Mass ihrer krystallographischen Wichtigkeit. Dem aber ist nicht so, dieser vollkommen ruhige Zustand ist nicht zu verwirklichen: schon die Annahme eines Krystallisationscentrums setzt eine plötzliche Störung voraus. Es treten übrigens Kräfte ein, welche die Anziehung der Moleküle nach einer Richtung unterstützen, nach einer andern vermindern; und den Resultirenden der Molekularanziehungen und diesen fremden Kräften muss man die Entstehung der wirklich vorkommenden Krystallflächen zuschreiben, deren Ausdehnung somit in den meisten Fällen nicht geeignet ist, uns ein klares Bild ihrer Wichtigkeit zu geben.

Es leuchtet ein, dass, wenn eine störende Kraft beständig wirkt, der Krystall vorzüglich nach einer Dimension und arm an Flächen ausgebildet werden wird [1]); wenn noch andere Kräfte eintreten, so wird man verwickeltere Formen entstehen sehen; und dass die Krystallisation ganz unmöglich wäre, wenn viele solcher

1) Es ist eine bekannte Erfahrung, dass beim Umkrystallisiren je reiner der Stoff, also je weniger fremde Kräfte die zwischen den Molekülen wirkende Anziehung beeinflussen, desto einfacher die Formen sich gestalten.

Kräfte einander durchkreuzten und die gegenseitige Anziehung der Moleküle vernichteten.

Aus dem Satze, dass es bei den Molekülen eines Krystalles eine ausgezeichnete Gleichgewichtslage gibt, folgt nicht, dass keine andere existiren kann; im Gegentheil: es gibt Körper, welche durch das häufige Auftreten von Zwillingsformen beweisen, dass noch andere unter günstigen Umständen zu verwirklichen sind. Denn die Zwillingslagerung ist nothwendig eine Gleichgewichtslagerung.

Bei einem ruhig krystallisirenden Körper gibt es gar keinen Grund zur Zwillingsbildung. Denn die Moleküle werden sich immer in der natürlichsten und stabilsten Stellung, welche die Krystallgestalt eines jeden Körpers bedingt, in einem Abstande von einander, welcher von ihrer Masse und Form abhängen wird, sich lagern. Wie aber oben von störenden Einflüssen, welche durch ihr stetiges Wirken Flächen hervorbringen, die Rede war, so ist auch möglich, dass dies gerade in eine Richtung falle, welche eine Umstellung der Moleküle bewirken kann. In diesem Falle wird man eine Zwillingsschicht bekommen. Eine Störung ist also nothwendig [1]); wie gross diese sein muss, hängt von der Masse und der Gestalt der Moleküle ab. Viele Körper zeigen so oft Zwillingsbildungen, dass sie scheinen die Ausnahme zur Regel machen zu wollen. Es ist aber auch wahrscheinlich, dass in vielen Fällen der Unterschied zwischen der Stabilität der ausgezeichneten Gleichgewichtslage gering sei — Dimorphismus — Pseudomorphismus —.

1) Man hat zwei Alaunkrystalle nach einem Zwillingsgesetz zusammengelegt in eine Lösung gebracht; die Krystalle verhielten sich aber wie fremde Körper und verwuchsen über einander, was man nicht erwartet hatte, weil man eben a priori die falsche Voraussetzung machte, dass die Moleküle dieselbe einfache Form hätten haben sollen.

Es ist somit klar, dass die Krystalle zweier verschiedener Fundorte nie dieselben Reihen von Combinationen zeigen können und dass, je nach der Lösung also der Art der Störung, die Gestalt der Krystalle eine andere sein wird. Bei den mikroskopischen Beobachtungen sieht man die Krystalle nach einer Dimension vorherrschend gebildet, wohl wegen des Einflusses der Unterlage, welche mittelbar oder unmittelbar, aber stetig wirkt; man sieht ferner, dass je nach der Unterlage[1]) — Glas, Glimmer, — verschiedene Combinationen auftreten müssen. — Herr A. Knop[2]) hat bei seinen Versuchen über das Wachsthum der Krystalle in einer urinösen Lösung von Chlorkalium, um sie mehr zu verunreinigen, Potasche in Salzsäure aufgelöst beigemengt und sie der Krystallisation überlassen. Er hat nun in der untersten Schicht wohlausgebildete Ikositetraëder erhalten; mit der Verdunstung aber des Lösungsmittels, also mit wachsender Intensität der hemmenden Kräfte ist diese Form allmählig in die Flächenarme eines Romboëders übergegangen, was nach dem Obigen begreiflich.

Es ist schon lange bekannt, dass Herr Prof. Reusch[3]) durch Druck am Kalkspath die Fläche (110) des nächst stumpferen Romboëders hervorgebracht hat, und so auf mechanischem Wege förmliche Zwillingslamellen erzeugt. Um dies zu erklären nimmt er eine Drehung der Moleküle an: durch Zwang den Uebergang aus einer Gleichgewichtslage in eine andere[4]). Es entsteht so eine spie-

---

1) Siehe Frankenheim Pogg. Ann. CXI.

2) Molekularconstitution und Wachsthum der Krystalle v. Prof. A. Knop. Leipzig 1867.

3) Pogg. Ann. CXXXII. p. 441.

4) Eine nicht durch die ganze Dicke gehende Fläche kann durch Erwärmen wieder verschwinden: die Moleküle kehren also in der stabilsten Nor-

gelnde innere Fläche, durch Farben niedriger Ordnung gefärbt. Keine Absonderung: wenn man ein dünnes Stück zwischen zwei Messingplatten parallel dieser Fläche befestigt, und nach dieser brechen will, so gelingt dies nicht; man bekommt die Rhomboëderfläche.

In einer kleinen Arbeit über den Gyps hat Herr Klien [1]) die wichtige Beobachtung gemacht, dass mit wachsenden Krystallisationswiderständen die Zwillingsbildung vorherrschend wird. Auf dem Objektträger erhielt er fast durchwegs flächenarme Zwillinge nach dem Gesetze „Zwillingsebene eine Säulenfläche". Was doch nicht sehr viel häufiger als das zweite Gesetz an natürlichen Krystallen vorkommt; in Fläschchen gab die Krystallisation viel weniger Zwillinge. Man sieht also hier sehr deutlich, die Art der Zwillingsbildung wie die Zwillingsbildung überhaupt von dem Widerstand abhängen. Es wäre unnütz die Beispiele zu vervielfachen.

Wenn man das Vorhergehende in einen Satz zusammenfasst, so wird man zunächst — denn die Molekularphysik ist noch zu weit zurück, als dass man im Stande wäre von einer näheren Bestimmung zu sprechen — ganz allgemein sagen können:

die Krystalle sind nur durch Störungen entstanden: wirkt während der Krystallisation eine Kraft stetig, so wird sie im allgemeinen eine Fläche von den dem Körper möglichen hervorbringen; geschieht dies in einer Richtung, in welcher leicht eine Umstellung der Moleküle sich bewirken lässt, so wird eine Zwillingsschicht entstehen.

Wir haben bis jetzt stillschweigend die Kräfte klein

---

malstellung zurück. Die Anziehung zwischen den zwei Schichten wird durch die Ausdehnung vergrössert etc.

1) Pogg. Annalen CLVII. p. 611.

im Verhältniss zu den Molekularanziehungen angenommen; anders verhält es sich, wenn dies nicht mehr der Fall ist. In der unmittelbaren Nähe eines andern Körpers ist gewiss die Lagerung der Moleküle keine normale und man begreift, dass es unter Umständen möglich sei, bei einem Krystall Flächen und Winkel zu sehen, welche seiner üblichen Gestalt nicht angehören. Nicht selten haftet der Quarz an andern Körpern nach Flächen von keiner krystallographischen Bedeutung, trotzdem, dass sie oft eben und glänzend wie seine übrigen Flächen sind. Ebenso die sogenannten Pseudo-Zwillinge. Wie aber beim Quarz so auch bei diesen und überhaupt ist und kann nur der Zusammenhang zwischen zwei Krystallen ein lockerer sein (d. h. keine stabile Gleichgewichtslage).

Ueber die vollkommene Gleichheit des Arragonits und Kalkspaths besteht schon sehr lange kein Zweifel mehr; ihre Moleküle sind nothwendig dieselben und es ist wahrscheinlich, dass der Unterschied von ihrer besonderen Lagerung herrühre. Man muss annehmen, dass bei der Bildung des Arragonits Kräfte ins Spiel kommen, von gleicher Ordnung wie die Molekularanziehungen; was, wenn man die vorherrschende Zwillingsbildung und die Versuche Gust. Rose's [1]), welche ergaben, dass Arragonit

1) Verhandlungen der Berliner Akademie 1860. p. 365, 575. Spätere Versuche ergaben, dass auch bei gewöhnlicher Temperatur die Bildung des Arragonits möglich sei, nur muss die Lösung sehr verdünnt sein, was auf dasselbe zurückführt: denn wir betrachten bloss die relative Grösse der störenden Kräfte im Vergleich zu der Molekularanziehung, welche durch die von der höheren Temperatur bewirkte Vergrösserung des Abstandes der Moleküle abgeschwächt sind etc. — Bei dem jetzigen Zustande der Molekularphysik ist man auf Vermuthungen angewiesen; man darf aber nie das Experiment vergessen. Es ist übrigens hier nicht unsere Absicht auf die Bildung der Krystalle und die *secundäre* Erscheinung der Wachsthumsbalken näher einzugehen.

vorzüglich aus warmen concentrirten Lösungen sich bildet in Betracht zieht, viel Wahrscheinlichkeit gewinnt. Demnach würden die Moleküle des Arragonits in einer Zwangstellung, nicht in stabilem Gleichgewicht sich befinden: wenn man ihn erhitzt [1]), so wird er matt und zerspringt mit Heftigkeit in eine Menge kleiner Stücke. Ganz analog also mit der Erscheinung, welche bei den „Glasthränen" stattfindet!

Kehren wir aber zu den innern Flächen des Gypses zurück. Sie sind durch das Einwirken einer störenden Kraft entstanden; später aber hat sich die Krystallisation fortgesetzt. Die Cohaesion senkrecht zu solchen Flächen muss daher klein sein, wie dies auch der Fall ist: zwischen zwei Messingplatten befestigt, kann man ein dünnes Spaltungstück nach τ und ε ganz gut und scharf brechen, was natürlich in keiner Beziehung zu seinen eigentlichen Cohaesionsminima steht.

Der Gyps zeigt bekanntlich einen höchst vollkommenen Blätterdurchgang, welcher der Symmetrieebene des Systems selbst entspricht. Wie aber fast bei allen Körpern, so auch hier gelingt es nie, eine vollkommene Spaltungsfläche zu erhalten, und davon trägt die mangelhafte Ausbildung der Krystalle einen guten Theil der Schuld. Man bemerkt nemlich auch auf der schönsten Spaltfläche, schon mit der Lupe sehr feine krumme Li-

1) Der Versuch stammt von Haidinger. Pogg. Annalen XI. 177. Sonderbarer Weise sah er Romboëder in den Trümmern des zerplatzten Arragonits und dies hat man oft angeführt ohne zu bedenken, dass es mehr denn falsch sei: eine physikalische Ungeheuerlichkeit. Bei dem von uns oben gewählten Beispiel, hätte man also die Glasthräne in lauter Kugeln zerfallen sehen sollen. Die Wärme hat hier keine andere Wirkung als eben das Gleichgewicht zu zerstören; ähnlich kann man den Arragonit, welcher härter als Kalkspath ist, bei verhältnissmässig kleinem Kraftaufwand zertrümmern. Die Erfahrung macht man oft beim Schleifen dieser Substanz; Romboëder darin gesehen zu haben hat sich bis jetzt aber niemand eingebildet.

nien, welche willkürlich laufen. Zwischen zwei planparallele Glasplatten gepresst, erkennt man sie als Gränze zweier nahestehender Farben. Diese sind somit Brüche, welche aber im Mikroscop zwar zahnartig, nicht aber nach M und F (wegen ihrer geringen Dicke) gebrochen sind. Man nimmt ferner noch zwei weitere Spaltflächen im Gyps an, die glasrige M (100) und die faserige. Diese letztere hat man früher der Fläche t entsprechen lassen. Später hat Phillips das Augitpar n ($\bar{1}11$) angegeben und dies ist von Herrn Prof. Reusch bestätigt [1]) worden: in seinen Schlagfiguren sieht man fast immer auf der einen Seite ein rechtes, auf der andern ein linkes n. Man sagt gewöhnlich dieser letztere Bruch sei deutlicher als der muschlige M; obwohl die Faserung einiges Bedenken erregen kann, trotzdem dass seine Kante mit dem Hauptblätterbruch so scharf sei; dieser letztere Umstand mit der Faserung, welche auf eine Unterbrechung deutet, verbunden, macht es wahrscheinlich, dass man da eigentlich ein treppenartiges Auftreten von zwei einen kleinen Winkel mit einander bildenden Flächen vor sich hat.

Eines der schönsten Verdienste der sogenannten Körnerprobe (hier Nadelprobe) ist, dass sie auf das Dasein eines vierten Bruches aufmerksam gemacht hat. Wir wollen nemlich von β sprechen, welcher später von Hessenberg als äussere Fläche beobachtet worden ist. Er macht einen Winkel von $14^0 4'$ [2]) mit der Richtung des faserigen Bruchs. Zwar ist er (leider) von Herrn Laspeyres [3]) in Aachen in Zweifel gezogen worden, was um

1) Pogg. Ann. CXXXVI. p. 136.

2) Herr Prof. Reusch hat anfangs 10^0 angegeben und später $13—14^0$; genauere Messungen ergaben ihm jedoch einen mit dem Obigen sehr nahe übereinstimmenden Werth.

3) Mineralogische Mittheilungen von Tschermak 1875. III.

so merkwürdiger auffällt, als keine besondere Aufmerksamkeit nöthig ist, um ihn wahrzunehmen. Herr Laspeyres will ganz deutlich „einen sägeartigen Verlauf, eine Scheinfläche, welche aus der Oscillation zweier anderer Kluftsysteme entstanden, eine Treppe“ gesehen haben. Ich habe aber diesen β oft an Stücken von 1 mm. Dicke und zwar auf mechanischem Wege erzeugt, dabei war er sogar glänzender als der Faserbruch [1]).

Taf. III gibt die stereographische Projektion der wichtigsten Flächen des Gypses auf den Hauptblätterdurchgang P.

In seiner Mineralogie spricht Hauy [2]) beim Gyps noch von einem „joint surnuméraire.“ Die Angaben über die Lage dieser Fläche weichen sehr bedeutend von einander ab. Diejenigen, welche sie gesehen haben, geben an, dass sie entweder in keiner krystallographisch möglichen Zone, oder in der [e, b] bald mit w $(\bar{1}13)$ bald mit u $(\bar{1}33)$ zusammenfalle. Wenn man ein dünnes Stück zwischen zwei Linealen nach dieser Richtung einklemmt und mit einem dritten brechen will, so gelingt dies nicht, das Plättchen aber auch bei den härtern Varietäten, biegt sich. Man wird also berechtigt sein, diese vermeintliche Fläche mit Herrn Prof. Reusch [3]) als eine Knickungsrichtung anzusehen. Eine solche Richtung kann nicht die Schärfe einer Spaltfläche besitzen; man begreift aber, dass, wenn sie nur sich selbst parallel bleibt im Krystall unter verschiedenen Neigungen sich fortsetzen kann.

---

1) Die k. k. mineralogische Sammlung in Wien besitzt übrigens eine grosse dicke Platte — von Herrn Prof. Reusch geschenkt — welche den Bruch durch die ganze Dicke und Länge glänzend zeigt.

2) Traité de Minéralogie.

3) Vergl. Tschermak. Mineralogische Mittheilungen. 1876. p. 67.

Ausser diesen besitzt der Gyps noch andere Richtungen leichtester Knickung. Man kann sehr oft an grossen Stücken durch die ganze Länge solche parallel der Kante d b sehen; die Knickungspfeile, welche man oft auch an den härtesten Varietäten bemerken kann, bestehen aus diesen zwei Richtungen der senkrechten zu a und der parallelen zu d. An Zwillingen nach dieser letztern Fläche, ist diese Knickungslinie fast ausnahmslos in einiger Entfernung von der gemeinschaftlichen Fläche zu sehen. Es ist merkwürdig, dass gerade zwischen der Zwillingsfläche und dieser Knickung der Krystall weich ist, von da ab zeigt er die gewöhnliche Härte. Wenn man nun auf ein dünnes Plättchen an einer solchen weichen Stelle mit einer Nadel sanft drückt, so sieht man — analog den früher von Herrn Prof. Reusch[1]) am Glimmer erhaltenen Knickfiguren — ein System von zwei Linien, welche einen Winkel von ungefähr 50° einschliessen, entstehen (Taf. II. fig. 2). Diese zwei Linien sind die senkrechte zu a und eine andere sehr wahrscheinlich senkrecht zu d. Es scheint also ein Unterschied zwischen diesen zwei und den übrigen zu bestehen.

Durch diese Erscheinung aufmerksam gemacht, habe ich nun später diese dritte Richtung auch natürlich vorkommend gefunden. Sie tritt auch bei den Pfeilspitzen von Montmartre auf: ein Stück Gypses von Bologna zeigte durch die ganze Länge nach dieser Richtung eine Fältelung — ähnlich den Wellenstreifen des Glimmers —. Sie spielt eine ähnliche Rolle wie die senkrechte zu a bei den Zwillingen nach dem andern Hauptgesetz. Wir legen bei die Abbildung eines Krystalls aus der Sammlung des

1) Monatsber. der Berliner Akademie 1873. p. 441.

hiesigen physikalischen Cabinets, welcher beide verwandte Knickungsrichtungen zeigt. (Taf. II. Fig. 3.)

Ueber die Härteverhältnisse des Gypses ist wenig Sicheres vorhanden, nicht nur weil er schwer zu behandeln ist, sondern auch wegen der so vielen Spaltflächen, welche seinen Hauptblätterbruch durchsetzen. Von den frühern Angaben, welche sich tüchtig widersprechen, erwähnen wir nur derjenigen von Ångström [1]) in seiner höchst denkwürdigen Abhandlung über die Constanten des monoklinischen Systems. Er findet, dass die Richtung der grössten Härte 14° mit dem faserigen Bruch einschliesst, während Exner [2]) 160° findet. Ångström aber ist durch die Voraussetzung, dass alle ausgezeichneten Richtungen im Gyps in zwei Gattungen sich zerlegen lassen, irre geführt worden. Die Bestimmungen von Exner sind begreiflicherweise viel zuverlässiger, obwohl immer noch unsicher. Tafel III. Fig. 2 zeigt die Härtekurve, wie sie sich aus seinen Zahlenangaben ergibt. Man wird bemerken, dass das kleinere Maximum, unsicher ist, was sehr wahrscheinlich nicht nur von β sondern auch von d, einer Fläche, welche, wie man aus dem Gitter im durchgelassenen Licht bemerken kann, häufig vorkommt.

Die Aetzfiguren im Gyps sind vor kurzem von Herrn Baumhauer [3]) untersucht worden; er fand vierseitige Vertiefungen gebildet von den Flächen (h k o) (h k h) und beide feingestreift. Herr Dr. Klien [4]) hat ähnliche Figuren erhalten.

1) Pogg. Ann. LXXXVI.
2) Über die Härte an Krystallflächen. Wien 1873.
3) S. Berichte der Akademie zu München 1875. p. 169.
4) Pogg. Ann. CLVII. 611.

Herr Prof. Reusch hat früher, indem er dünne Spaltungsstücke in Wasser einhängen liess, zwei Liniensysteme parallel zu a und d bemerkt. Aus einem andern Standpunkt, indem ich sehen wollte, wie das Lösen von einem Mittelpunkt aus fortschreite, habe ich an sehr dünnen Gypsplättchen feine runde Löcher durchbohrt (was nur am Gyps gelingen kann) und sie horizontal in verdünnter Salzsäure hängen lassen; es entstanden Rhomben (Taf. II. Fig. 5), deren Seiten natürlich parallel den eben erwähnten Richtungen liefen, a aber war scharf begrenzt, was man von d nicht sagen konnte, und das hängt mit den verschiedenen Lösungsfiguren auf diesen zwei Flächen zusammen. Auf a entstehen nämlich äusserst feine Streifen, und nur ein System solcher parallel a b, wie dies auch durch das Gitter im reflektirten Licht zu erkennen ist; auf d aber entstehen keine Furchen, wie Herr Dr. Klien glaubt. Die Figuren sehen sehr unregelmässig aus (siehe Taf. II. Fig. 4) und erfolgen nach schiefen Richtungen. Man sieht unregelmässige längliche Vertiefungen, die Fläche wird rauh, von der Seite aus sieht man rechtwinklige Ecken; von einem Gitter kann nicht die Rede sein.

Man wird vielleicht einwenden, dass man mit der Durchbohrung den Zusammenhang der Platte unterbricht und so ein kapillares Einziehen der Flüssigkeit im Krystall bewirkt[1]). Indessen ist das nicht von Bedeutung, wie direkte Versuche zeigten; die Flüssigkeit dringt durch eine Spaltritze ein, die Widerstandsverhältnisse bleiben dennoch dieselben. Diese durch ein Loch entstandenen Lösungsfiguren zeichnen sich dadurch aus, dass das Ver-

1) Herr Laspeyres l. c. p. 130 gibt zwar an, dass wenn man Gypsplatten mit Schlagfiguren in Wasser legt »diese dadurch sehr leiden«. — Bis jetzt aber hat er ihre Leiden nicht näher beschrieben.

hältniss zwischen den Abständen zweier gegenüberliegender Seiten constant ist. Es ist geradezu auffallend, dass man nur schwache Andeutung von Begränzungsflächen wahrnimmt. Man sieht aus der Figur, dass d am unregelmässigsten in der Nähe einer Ecke ist und im Mikroskop bemerkt man da einen geneigten Abhang, wie man aber bei polarisirender Vorrichtung ersehen kann, sind die Neigungswinkel verschieden.

Eins ist noch zu erwähnen: wenn man diese Lösungsfiguren betrachtet, kommt man auf den Gedanken, dass das Entstehen von so bestimmten Richtungen auf einen grössern Widerstand senkrecht zu ihr hindeute, und dies ist auch in der That der Fall. Wenn man nämlich aus einem dünnen Plättchen ein Parallelogramm mit den Seiten a und d ausschneidet, dann zwei seiner gegenüberliegenden Ecken durch eine andere Richtung z. B. t abstumpft und horizontal in verdünnte Salzsäure einhängen lässt, die Abstände der Seiten vor und nach dem Eintauchen misst, so wird man sehen, dass derjenige von d fast unverändert bleibt, während der von a kleiner geworden, was bei dem von t noch auffallenderer hervortritt. Aehnliches ergibt sich aber in noch höherem Grade, wenn man statt t die senkrechte zu d bei den Plättchen anbringt. So hat man z. B. in Fig. 6. Taf. II. die Abstände von

T—T = 21 mm.	T—T = 18 mm.
a—a = 23,4 mm.	a—a = 21,6 mm.
d—d = 16,03 mm. vor,	d—d = 15,7 mm.

nach dem Eintauchen. Herr Klien hat direkt das Auflösen von Gypskrystallen unter dem Mikroskop beobachtet; seine Angaben stimmen mit dem Obigen überein. Er fand nämlich, dass anfangs die Krystalle sich an den Kanten abrunden (wie überhaupt die Kanten und Ecken

immer zuerst angegriffen sind, weil sie verhältnissmässig eine grössere Oberfläche dazu bieten), dann aber rasch in der Richtung der Hauptaxe abnehmen: d. i. also ein Widerstandsminimum liegt parallel zu a [1]).

Eine Erklärung der Aetzfiguren zu geben, ist natürlich nicht möglich, da noch der Zusammenhang zwischen diesen und den andern Eigenschaften der Krystalle noch nicht festgesetzt ist. Man hat übrigens zu wenig Beobachtungen auf diesem ganz neuen Untersuchungsgebiete, und es wäre wünschenswerth wenn man den Vorgang etwas genauer untersuchen wollte. Denn das Lösen ist gerade das Entgegengesetzte der Krystallbildung und beide ergänzen sich. Dazu reichen aber nicht bloss die Aetzfiguren.

Es ist klar, dass wie bei der Krystallisation für die Erzeugung solcher Erscheinungen möglichst ruhige Umstände am günstigsten sind, wie man denn auch bemerkt hat, dass bei schwachen Aetzmitteln die Figuren viel schärfer sich gestalten. — Aus diesem Grunde geht hervor, dass das Verfahren Herrn Exner's, das Lösungsmittel in einem geschlossenen Strahl gegen eine Fläche ausströmen zu lassen, keinen Vortheil auf den übrigen haben kann, weil der ganze Vorgang etwas Unruhiges an sich trägt. Das Eintauchen ist auch nicht ohne Nachtheil, weil die Abfliessrichtung störend einwirkt; doch ist dies erheblich vermindert, wenn man die zu untersuchende Fläche horizontal und nah an der obern Gränze der Flüssigkeit hängen lässt.

---

1) Fabri soll, mit obigem ganz widersprechend, gefunden haben, dass die Auflösung am schnellsten in der Richtung des faserigen, am langsamsten in der des glasrigen Bruches, und in zwischenliegenden Richtungen mit mittlerer Geschwindigkeit fortschreite. Das ist etwas, was ich nicht bestätigt gefunden habe. Einen Aufsatz selbst Cimento XI habe ich nicht gesehen.

Man nimmt gewöhnlich die Aetzeindrücke an als Vertiefungen von bestimmten Flächen gebildet; indessen sind solche nur beim Quarz von Leydolt gemessen worden. Die Unterschiede aber in der Gestaltung der Aetzeindrücke je nach den Umständen, können einiges Bedenken erregen. So sieht man oft am Kalkspath die zu untersuchende Romboëderfläche die Vertiefungsecken selbst abstumpfen, und doch hätte sie angegriffen sein sollen; ebenso im Steinsalz, Glimmer etc. Bei den meisten Krystallen erscheinen übrigens die Begränzungsflächen abgerundet (Kalkspath, Glimmer, Granat etc.) und bei starken Vergrösserungen sieht man ihre Durchschnitte mit der zu untersuchenden Fläche, zahnartig — wenn aber bestimmte Flächen da sind, drängt sich die Frage auf: wie denn diese Flächen selbst gegen das Aetzmittel sich verhalten, denn es ist nicht begreiflich, dass sie gleichmässig in ihrer ganzen Ausdehnung angegriffen werden.

Es gibt aber gar keine direkte Versuche und man muss sich mit der Betrachtung der vorhandenen Flächen begnügen. Die meisten sind gestreift; eine solche Streifung deutet aber auf eine Unterbrechung, auf eine Treppe hin; das ist die wahrscheinlichste Annahme. Wenn man nun die Gypsfigur im Mikroskop bei polarisirender Vorrichtung untersucht, so findet man, (nicht bei zu kleinen Figuren, denn der Unterschied der Farbe ist gering und daher schwer zu erkennen) dass mit jedem Streifen die Farbe sich ändert und dass eine Stufe, besonders bei a (denn auf d ist, wie gesagt, alles viel unregelmässiger) in ihrer ganzen Länge einigermassen eine teinte plate zeigt; ist also parallel der zu untersuchenden Fläche. Es ist wahr, oft scheint bei den Flächen d am Gyps die Abnahme der Farbe ganz stetig stattzufinden, bei star-

ken Vergrösserungen kann man die Streifen aber wahrnehmen.

Die Aetzfiguren zeigen beim Gyps nicht immer dieselben Verhältnisse und das spricht gegen eine feste Neigung der Flächen. Sohncke hat ähnlich beim Steinsalz durch direktes Messen der Vertiefungsflächen eine ganze Reihe von Pyramidenwürfelflächen gefunden, welche so nahe aneinander liegen, dass man sich berechtigt sieht zu zweifeln, ob ein Gesetz in Betreff des Entstehens solcher Flächen obwaltet.

In dem zwei- und eingliederigen System, in welchem der Gyps krystallisirt, ist nur eine Symmetrieebene vorhanden; man nimmt demnach in diesem System die Axen nicht alle rechtwinklig auf einander an. Die Symmetrieebene selbst ist nämlich die Ebene der einen von 90° verschiedenen Winkel mit einander einschliessenden Axen. Aus diesem Grund kann man in ihr die Lage der optischen Elasticitätsaxen a priori nicht angeben. Ebenso verhält es sich mit den übrigen ausgezeichneten Hauptrichtungen, wie die zu diesem Zweck am Gyps und Adular unternommenen Bestimmungen Ångström's zeigen.

Die Elastictät im Gyps hat schon Savart obwohl vorübergehend mittelst der Klangfiguren untersucht. Er ist aber durch die Voraussetzung, dass die Knotenlinien von den Spaltlinien abhängen, zu falschen Schlüssen geführt worden. In seiner berühmten Abhandlung über den Gyps[1]) sucht Neumann, indem er von rechtwinkligen Axen ausgeht, nachzuweisen, dass die thermischen, optischen, akustischen mit den Cohaesionsaxen des Krystalls zusammenfallen; spätere Versuche haben jedoch

1) Pogg. Ann. XXVII.

gezeigt, dass dies bloss für die thermischen Axen der Fall ist, d. h. diese liegen sehr nahe an den optischen Axen.

Die Untersuchung der Klangfiguren von Gypsscheiben führte Ångström [1]) zu dem Schluss, dass auch die Elasticitätsaxen im Hauptplätterdurchgang nicht senkrecht auf einander stehen, indem die Axen der Kurven verschiedener Ordnungen nicht eine feste Lage einnahmen. Ångström liess noch Gypsscheiben von der Mitte aus schwingen, indem er durch ein Loch in der Mitte den Strich führte und sie an einem Punkte der Knotenlinie befestigte; er erhielt so eine geschlossene elliptische Kurve, deren kleine Axe er als die der grössten Elasticität ansah; er bestimmte so ihren Winkel mit dem faserigen zu 53°40′ also mit der Axe a 77°26′. Das Verhältniss der zwei Axen, welches natürlich nur von der Gestalt der Kurven abhängt, betrachtete er als ein Mass des relativen Werthes der Elasticität auf dem Blätterdurchgang; dies, ohne vorher eine Theorie der Oscillationsbewegung krystallinischer Scheiben zu besitzen. Wenn man aber keine rechtwinkligen Axen im Gyps annehmen will, kann man die obige Vermuthung nicht aufstellen.

Es lag demnach nahe, nach dem von Herrn Baumgarten und Voigt eingeschlagenen Wege, die Elasticitätsverhältnisse im Gyps durch direktes Messen der Biegungen prismatischer Stäbe zu messen. Und die Aufgabe ist hier in mancher Hinsicht nicht so schwer zu lösen wie beim Steinsalz und Kalkspath. Man hat übrigens noch den Vortheil, dass zwei Flächen hier direkt durch Spalten darstellbar sind; so wenigstens ist ein guter

1) Loc. cit. p. 224.

Theil der durch das Sägen und Feilen entstandenen Unregelmässigkeiten beseitigt. Indessen fordert die Behandlung des Gypses wegen seiner Weichheit und faserigen Struktur Vorsicht.

Die Versuche habe ich vorzugsweise mit Aschersleberem Gyps angestellt, von welchem ein grosser Vorrath durch die Güte meines verehrten Lehrers Prof. Reusch zu Gebote stand. Es waren grosse dicke Platten, welche sich mit einiger Uebung sehr gut spalten liessen. Man muss sich aber von der Gösse der Platte nicht zu viel versprechen, denn tadellose Stellen findet man nicht allzuviel; und um schöne Spaltflächen zu bekommen, muss man doch die Stücke verkleinern, ihnen eine passende Form geben; dazu kommt die früher erwähnte Biegung nach d und die nach dieser Richtung vorherrschende Ausbildung der Krystalle, welche das Herstellen von Lamellen senkrecht zu ihr, oft unmöglich macht. Beim Gyps von Montmartre, welcher übrigens unbegreiflicherweise sich weniger gut spaltet, ist dies natürlich in viel höherem Grade der Fall, und es kann bloss von Richtungen, welche in der Nähe von d sich befinden, die Rede sein. Es konnten daher mit dieser Varietät nicht endgültige Versuche unternommen werden. Der Gyps von Bologna dagegen zeigt bei den früher angeführten Unregelmässigkeiten eine solche Weichheit, dass man beim Spalten nie sicher sein kann [1]), ob nicht eine Biegung stattgefunden hat.

Zur Herstellung der Lamellen dienten zwei gleiche genau bearbeitete Messingplatten, welche durch zwei an den Enden angebrachten Schrauben verbunden waren und

---

1) Man kann Stücke von mehreren Mm. Dicke mit sehr grosser Leichtigkeit senkrecht zu a und d zwischen den Fingern biegen.

sich ganz genau überdeckten. Nachdem man vorher Gypstafeln von ungefähr 3—4 Zehntelmillimeter Dicke hatte, brachte man sie zwischen den Platten in die erwünschte Richtung, welche vorher durch einen Nadelriss bezeichnet war. Die Befestigung geschah durch zwei Klemmschrauben, welche man solange drehte, bis eine vollkommene Berührung zwischen dem Gyps und den innern Messingflächen stattfand. Das Abschneiden erfolgte mittelst sehr feinen, zu diesem Zweck bestellten chirurgischen Lancetten dicht an der Seite der Metallplatten nach mehrmaligen leichten Zügen. Um die Seitenflächen der Lamellen dann auf dieselbe Ebene wie die der Platten zu bringen, sie zu glätten und den Grat zu beseitigen (was allerdings nicht ohne Weiteres geschehen kann) muss man vorsichtig mit der Schneide der Lancette darüber fahren, wie beim Vorwärtsabziehen. Die Richtungen der Lamellen waren roh durch eine Projection auf P bestimmt, dann aber genauer im Mikroscop durch das Winkelmessocular der Winkel ihrer Längsaxe mit dem faserigen Bruch gemessen.

Der Apparat, welchen ich ebenfalls meinem verehrten Lehrer verdanke, weicht von dem des Neumann'schen Cabinets in einigen Punkten ab (siehe Taf. I. Fig. 3 und 4). Ein leichter Messingbügel (dessen Weite um ein Geringes die Weite der Lamellen übertrifft), welcher eine dünne Wagschale zum Auflegen der Gewichte trägt, ist an einem Stahlcylinderchen (statt einer Schneide) angebracht. Dieses letztere ruht auf Einschnitten, welche in der Mitte zweier, eine einfache Arretirung wie beim Inclinatorium bildenden parallelen Hebeln angebracht sind. Die Hebel sind an einem Ende fest verbunden und ihre Rotationsaxe befindet sich in der durch die zwei Stützen gehenden Ebene. Man kann so durch eine excentrische Scheibe

das Aufheben und Auflegen des Cylinders sammt Gewichten in sehr ruhiger Weise bewirken. Mit dem Stahlcylinderchen ist ein Glasmikrometer verbunden; die Ablesung geschieht also direkt mittelst des Mikroscops, indem man den Strich, auf welchem das Fadenkreuz des Okulars steht, bemerkt. Man sieht, dass es sich hauptsächlich um Vereinfachung der Beobachtungsmethode gehandelt hat; dabei ist die so erhaltene geringere Genauigkeit für den Zweck vollkommen hinreichend. Da es vorzugsweise Verhältnisse zu messen galt, so wurden die Umstände bei allen Lamellen möglichst gleich gemacht; so war bei allen die Länge 50 Mm. bei einer Breite von 15 Mm. um ein stabiles Aufliegen zu bezwecken, gemein. Aus den Beobachtungen von Voigt geht hervor, dass innerhalb der Elasticitätsgrenze und nicht zu nah an ihr die Biegungen proportional den Gewichten sind; es wurden demnach die Belastungen nicht vervielfacht (ausser bei den zwei ersten Reihen und bei Lamellen, welche unbefriedigende Resultate ergaben), dagegen aber für ein bestimmtes Gewicht möglichst viele Beobachtungen gemacht: das Gewicht war so gewählt, dass die meisten Lamellen ungefähr dieselbe Biegung zeigten; so war wenigstens ein Theil der von dem Unterschiede der Spannung, sowie von den inneren Verschiebungen abhängenden Unregelmässigkeiten beseitigt.

Bei der direkten Ablesung der Biegung am Fadenkreuz ist es aber eine nothwendige Bedingung, dass das Glasmikrometer im Mikroskop immer deutlich gesehen werde, sich also in einer Ebene senkrecht zur Axe des Mikroskops bewege, was allerdings mit Mühe bewirkt werden konnte. Ich war aber im Stande bei der Ablesung viele Beobachtungen zu machen ohne das Mikroskop zu berühren, und das kann die Genauigkeit nur vermehren.

Die Ebenen der Schneiden konnte man horizontal stellen und daher auch die Breitflächen der aufliegenden Lamellen. Die Seiten der Einschnitte, welche das Stahlcylinderchen trugen, wurden so lange bearbeitet, bis man beim Auflegen des Gewichts, das Cylinderchen und sein Bild auf der obern Fläche bis zur Berührung parallel gegeneinander rücken sah; dann war die Berührungslinie horizontal und gleich belastet, was, wie direkte Versuche zeigten, von grosser Wichtigkeit ist.

Der Werth eines Intervalls des Glasmikrometers war $\overset{\text{Mm.}}{0{,}00973177}$; die Vergrösserung war so gewählt, dass man mit Sicherheit noch die Zehntel schätzen konnte und mit einiger Uebung mehr.

Wir haben oben die Länge und Breite der Lamellen angegeben (die grosse Breite von 15 Mm. war überdies angenommen, um die Wirkung der durch den Grat, welcher bei gewissen Richtungen[1]) nicht möglich zu vermeiden war, entstehenden Unterbrechung in der Continuität der Seitenflächen zu reduciren). Die Dicke der Lamellen überstieg nie $\overset{\text{Mm.}}{0{,}5}$, sie wurde gemessen mittelst eines Sphärometers, welches $\overset{\text{Mm.}}{0{,}002}$ unmittelbar geben konnte; die Zehntel wurden noch immer angegeben. Die Lamellen waren für die Messung zwischen zwei planparallelen Glasplatten, schmäler als 15 Mm., gelegt.

Es wurden die hauptsächlichsten Richtungen im Hauptplätterdurchgang untersucht, nämlich:

Senkrecht zu dem muscheligen Bruch (Bezeichnung $\perp$ a).
Parallel zu β („ $\parallel \beta$).
Parallel zum faserigen („ $\parallel$ t).
Parallel der optischen Mittellinie („ $\parallel$ OML).

1) So z. B. für die parallel β, wo man oft scharfe Linien nach dem faserigen Bruch 1 Mm. weit in die Lamelle treten sah.

Senkrecht zur Zwillingsfläche d (Bezeichnung $\perp$d).
Senkrecht zu der Fläche τ (305) („ $\perp\tau$).
Senkrecht zur Fläche ε (103) („ $\perp\varepsilon$).
Senkrecht zur Fläche c (001) („ $\perp$c).
Und die Senkrechten darauf.

Die Resultate der Beobachtungen sind alle auf die mittlere Dicke $\overset{\text{Mm.}}{0{,}3459}$ und auf 1 Grm. Gewicht reducirt. Dies sowie die Berechnung des Elasticitätsmodulus geschah mittelst der bekannten Formel

$$E = \frac{P\, l^3}{4\, \alpha\, b\, d^3}$$

wo l die Länge, b die Breite, d die Dicke, α die durch die Belastung P bewirkte Biegung der Lamelle, bezeichnen. Correktionen wegen der Gestalt sind nicht angebracht worden, da die Unterschiede in der Dicke, wie man aus dem Polarisationsapparat (wo die Farbe durch Combination empfindlicher gemacht wurde) und bei der Messung der Dicke zwischen den planparallelen Glasplatten aus den Streifen von Newton urtheilen konnte, sehr klein waren.

Die Resultate der Biegungen sind im Anhang I. ausführlich mitgetheilt. Man wird bemerken, dass sie in manchen Richtungen schlecht mit einander stimmen; und das ist begreiflich bei einem so weichen Körper wie der Gyps, welcher so grosse Elasticitätsunterschiede zeigt. Wenn man insbesondere die Richtungen, nach welchen eine Biegung stattfindet, und ihre senkrechten ins Auge fasst, so wird man bemerken, was schon die Knickfiguren andeuten, dass ein Unterschied zwischen d und den anderen besteht. Die Lamellen nämlich, welche parallel d gerichtet sind, zeigen Abweichungen, welche in den hundertsteln Millimeter fallen, was bei den andern durchaus nicht der Fall ist.

Was die Proportionalität der Biegungen zu den Belastungen anbelangt, so war sie bei so kleinen Gränzen befriedigend, wie man aus dem beigefügten Auszug der Beobachtungen ersehen kann.

Nr.	Richtung.	Verhältnisse der Gewichte.	Verhältnisse der Belastungen.
42	∥ d	1 : 2	1 : 2,004
20	⊥ c	1 : 2	1 : 1,995
37	∥ OSL	1 : 1,4	1 : 1,399
39	∥ d	1 : 1,5	1 : 1,499
50	∥ d	1 : 1,5	1 : 1,497
38	∥ OSL	1 : 1,75	1 : 1,761
36	∥ OSL	1 : 1,333	1 : 1,324
35	∥ OSL	1 : 1,333	1 : 1,333
34	∥ OSL	1 : 1,25	1 : 1,264
62	⊥ a	1 : 1,4 : 2	1 : 1,403 : 1,993
52	∥ τ	1 : 1,25 : 1,666	1 : 1,240 : 1,663

Einen weitern Beweis, wie verwickelt der Zusammenhang, welcher zwischen Cohaesion und Elasticität besteht, ist, liefert die Thatsache, dass der Elasticitätscoefficient parallel und senkrecht zum faserigen Bruch sehr nahe denselben Werth besitzt, während man, wie bekannt, von der Cohaesion Aehnliches keineswegs sagen kann (noch von der optischen Elasticität). Ganz ähnlich ist es der Fall mit der optischen Supplementarlinie und der senkrechten zu a (100) deren Coefficient bis auf Grössen, welche in den möglichen Fehlern der Beobachtung liegen, miteinander übereinstimmen. Die Biegung für die erste ist nämlich 135,23, für die zweite 134,05 (alles natürlich auf die mittlere Dicke und ein Gramm reducirt).

Wenn man in den bezüglichen Richtungen Strecken proportional der auf dieselbe Dicke und Belastung reducirten Biegungen aufträgt, so erhält man eine Kurve

vierten Grades, deren Wendepunkte in den Richtungen $\perp\tau$ und $\perp t$ fallen und deren ausgezeichnete Richtungen nicht senkrecht auf einander stehen: diese bilden mit einander einen Winkel von 82°,7. (Taf. III. fig. 3.)

Die grösste Elasticitätsaxe liegt zwischen $\perp\varepsilon$ und $\perp c$ und macht also einen Winkel von 75°,4 mit der Axe a, was, wie ich schon oben bemerkt habe, mit den Angaben Ångström's übereinstimmt. Das ist aber durchaus nicht der Fall bei den Verhältnissen in den zwei Axen. Man sieht hier dass sie wie 1 : 2,88 sich verhalten.

Der Elasticitätscoefficient in der ersten Richtung beträgt 8870000 Gramm.
In der zweiten 3130000 „

Es wurden noch einige Versuche mit dem Gyps von Montmartre angestellt, dessen Aussehen und Sprödigkeit so verschieden von denen des Aschersleberm sind. Ich konnte aber ordentliche Lamellen bloss in der Richtung von d, τ und OSL bekommen. Die Resultate sprechen eher dafür, dass kein Unterschied sowohl in den Verhältnissen als in dem absoluten Betrag des Elasticitätsmodulus existirt, was allerdings nicht vorauszusehen war.

So hat man also für Aschersleber

	Biegung	Elasticitätscoefficient
OSL	134,05	3863500 Gramm
d	161,67	3211900 „
τ	165,85	3122700 „

Für Gyps von Montmartre dagegen

	Biegung	Elasticitätscoefficient
OSL	132,66	3904000 Gramm
d	164,13	3155500 „
τ	162,95	3177400 „

Die sicherste Richtung ist OSL.

GLIMMER.

Es sollten anfangs hauptsächlich die Elasticitätsverhältnisse im Glimmer untersucht werden. Zu diesem Zweck wurden aus Muskowittafeln von grossem Axenwinkel zwei Reihen hergestellt, welche aber so verschiedene Resultate ergaben, dass man von einer Bestimmung nicht sprechen konnte. Später jedoch habe ich ihn wieder zur Hand genommen, zumal ich eine Reihe sehr schöner Glimmerplatten bekommen habe[1]), und versucht, wenigstens die Elasticität in den Richtungen der zwei optischen Elasticitätsaxen festzustellen. Der Glimmer eignet sich freilich wenig zu solchen Versuchen, er ist immer wellenartig, die Streifen, welche er zeigt und welche von stellenweisen Verdichtungen herrühren, wie man das am besten im Polarisationsapparat erkennen kann, sind von störendem Einfluss. Ausserdem sind auch Knickungen in der Richtung der zweiten rhombischen Säule p_3 nicht besonders für elastische Biegungen geeignet. Es war aber von Interesse zu sehen, wie dieser merkwürdige Körper in Betreff der Elasticität beschaffen war.

Einen Vortheil gewährt doch der Glimmer durch seine vollkommene Spaltbarkeit. Man kann recht gut parallelflächige Tafeln, von solcher Ausdehnung, dass man aus ihnen eine vollständige Reihe von Lamellen herausschneiden kann, herstellen, obwohl man auch hier stellenweise diese feinen Bruchlinien im Polarisationsapparat durch die mit ihnen eintretende sehr schwache Aenderung der Farbe noch immer bemerken kann; durch Uebung kann man sie jedoch auf ein Minimum bringen.

1) Von Herrn Max Raphael in Breslau.

Der Kaliglimmer sollte eigentlich rhombisch krystallisiren, wenn man aus seinem optischen Verhalten und seiner Zwillingsbildung was schliessen wollte, allein seine andern physikalischen Eigenschaften sprechen gegen diese Annahme, und man ist zu dem Schluss gekommen: er sei zweigliedrig mit monoklinem Habitus, was uns allerdings nicht viel neues sagt.

Man hat lange bloss die freilich ausgezeichnete Spaltbarkeit nach der Basisfläche P im Glimmer gekannt, bis die Schlagfigur[1]) zwei andere Cohaesionsminima senkrecht zu (010) und zu {110} erwiesen hat; und diese letztere ist wahrscheinlich nicht so vollkommen als die erste. Die Knickungsrichtungen im Glimmer fallen zwischen die Spaltrichtungen, machen mit ihnen einen Winkel von 30°, gehen also parallel den Flächen (100) und {130}. Von einem nachweisbaren Unterschied aber in der Deutlichkeit der zwei Knickungsrichtungen, sowie auch der zwei unvollkommenern Spaltflächen ist keineswegs die Rede. Aehnlich gestalten sich auch die Isothermenkurven bei dieser Substanz merklich als Kreise.

Die Aetzfiguren am Glimmer gehören zu seinen interessantesten Erscheinungen. Baumhauer[2]), welcher ihn zuerst in dieser Hinsicht untersucht hat, fand vielseitige Vertiefungen, welche sich vorn anders als hinten gestalteten, oft aber stark abgerundet, was mit dem Auftreten naheliegender Richtungen zusammenhängt. Er betrachtet sie als von der Hemipyramide P (vorn), der Hemipyramide 2P (hinten) und von einer hinteren Schiefendfläche. Indess, wie seine Figur zeigt, treten noch viele andere Flächen auf. Diese Eindrücke erhielt er, indem er Glim-

1) Monatsberichte der Berliner Akademie 1869. p. 85.

2) Sitzungsber. der math-physik. Classe der Akademie zu München 1874. p. 245.

mertafeln dem Einwirken eines heissen Gemisches von feingepulvertem Flussspath und Schwefelsäure aussetzte. — Die Aetzung geschah also durch gasförmige Flusssäure und war keine langsame.

Ganz andere Resultate erhielt ich mit dem langsamen Aetzen in flüssiger Flusssäure. Die Eindrücke sind überwiegend Romben, deren Seiten parallel der Säulenflächen laufen. Nach dieser Form tritt die in Fig. 7 (a) Taf. II. abgebildete am häufigsten auf. Die Richtung, welche die spitzen Ecken der Romben abstumpft, bildet mit der Seite einen Winkel von 78°40′. Höchst selten traten Flächen wie (130) oder (100) auf. Die Seiten sind gewöhnlich scharf, nie sieht man eine so starke Abrundung wie bei den Figuren von Baumhauer, was mit dem ruhigen Vorgang zusammenhängt. Wie bei ihm gestalten sich die Figuren anders vorn als hinten, die überzähligen Richtungen treten gewöhnlich nur auf einer Seite auf, dann aber symmetrisch zu (010).

Soviel was die allgemeine Gestaltung anbelangt; für die schiefen Vertiefungsflächen verhält sich aber anders die Sache. Die starke Streifung schien mir von jeher nichts Gutes zu versprechen. Und in der That, es zeigen sich solche Unterschiede in ihrer Neigung, dass, wenn man sie bei polarisirender Vorrichtung durch das Mikroskop betrachtet, gar nicht auf den Gedanken kommen kann, dass bestimmte Flächen da seien. Man wird das schon aus der Betrachtung der in Taf. II. abgebildeten Figuren ersehen [1]).

Diese durch Einhängen erhaltene Aetzeindrücke sind sehr schön und bestätigen was ich von der Bedeutung

---

1) Uebrigens auch die Figuren bei Baumhauer deuten auf verschiedene Neigung der Flächen, wenn man sie als richtig gezeichnet voraussetzt.

der Streifen früher gesagt habe. Denn entweder sind bestimmte Flächen da oder nicht. Im ersten Falle muss die Streifung aus einer Treppe, gebildet von solchen Flächen, im zweiten aber, wenn man bloss Richtungen, annimmt, wird sie ganz bestimmt aus dem Hauptblätterbruch vorzugsweise und senkrechten rauhen Abfällen (oder sehr steilen, welche dann wieder Treppen sein können) bestehen.

Wenn man die Scheinflächen, welche die Aetzfiguren begränzen näher betrachtet, so sieht man, dass ihre verschiedene Neigung ausschliesslich aus der Weite der Stufen, welche dem Hauptblätterdurchgang parallel zu gehen scheinen, herrührt (ob das wirklich der Fall ist d. h. ob sie parallel zu ihm sind, kann man aus der Farbe bei polarisirender Vorrichtung nicht endgültig entscheiden. Die Aenderung der Farbe ist schwer zu erkennen, die Neigung gegen den Hauptblätterbruch wird jedenfalls sehr gering sein). Ueber die andern Flächen der Treppe, wenn überhaupt solche da sind, lässt sich nichts sehr Bestimmtes sagen. Ihre sehr steile Neigung lässt nicht viel Licht durchgehen, und desshalb ist ihre Untersuchung unmöglich. Aehnliches gilt von den Flächen der Richtung, welche einen Winkel von 78°40′ mit p einschliesst, und welche einzig scharf begränzt erscheint. Alle diese Verhältnisse wird man in der Taf. II. Fig. 7 erkennen. Manchmal sieht man sehr langgestreckte Scheinflächen an einige Seiten der Romben sich anschliessen, während andere keine Spur davon zeigen und sehr scharf begränzt sind.

Die verschiedenen Gestalten der Aetzfiguren kann man freilich sich bis zu einem gewissen Punkt klar machen, wenn man annimmt, dass in einer Zone verschiedene Aetzflächen auftreten können; ganz ähnlich

wie man auf der zu untersuchenden Fläche vielseitige Vertiefungen bemerkt. Demnach wenn wir die lösende Kraft von einem Mittelpunkt im Körper aus wirkend uns denken, sollte die Aetzgestalt ein Polyëder von einer nichts weniger als einfachen Form sein. Die Aetzeindrücke scheinen aber diese Folgerung durchaus nicht zu bestätigen. Auf jeder Fläche, mögen sie auch noch so tief im Stoff gehen, haben sie bei bestimmten Umständen eine ganz charakteristische Gestalt, welche die den andern Flächen eigenen sehr untergeordnet beeinträchtigen. Man hat am Gyps gesehen, dass die durch ein durchbohrtes Loch erhaltenen Lösungsfiguren ähnlich wie die direkt erhaltenen gebildet sind. Manche Glimmerplättchen waren durch das lange Einwirken ganz durchbohrt, das Aetzmittel konnte also frei wirken, dennoch war die ursprüngliche Gestalt durch dies nicht im Mindesten verändert.

Aus dem Vorhergehenden geht bis auf weiteres hervor, dass bei den Aetzfiguren zunächst im Gyps und Glimmer eher Richtungen als Flächen des grössten Lösungswiderstands (wenn man diesen Begriff auch auf die Aetzflächen erstrecken darf) ins Spiel kommen.

Für die Herstellung von Glimmerlamellen dienten dieselben Vorrichtungen wie beim Gyps. Nur war hier eine grössere Vorsicht beim Abschneiden nothwendig, wegen der so leichten Aufblätterung. Die Richtungen waren mittelst des Stauroscops und der Schlagfiguren bestimmt. Es sind folgende untersucht worden:

parallel der Ebene der optischen Axen
„ der Flächen p (110)
„ „ „ p_3 (130)
senkrecht zur Ebene der optischen Axen

ausserdem diejenigen welche zwischen den obigen liegen

und also 15° mit ihnen bilden. Was die Dicke anlangt, so überstieg sie nie 0,3 Mm. und war wie beim Gyps mittelst zwei planparallelen Glasplatten durch das Sphärometer gemessen.

Wie vorauszusehen war, sind die Unterschiede der Elasticität im Glimmer äusserst gering. Schon die ersten Bestimmungen zeigten ein minimum 45° mit a bildend. Das maximum ist aber parallel der grössten Rhombusdiagonale. Die Tab. II. im Anhang enthält die Resultate der Biegungen. Man wird bemerken, dass für jede einzelne Lamelle die Zahlen unter sich nicht allzu schlecht stimmen, was freilich bei der ersten Reihe nicht der Fall war. — Es mussten bei dieser für jede einzelne gegen 40 Beobachtungen und mehr (indem man sie verschob, so dass verschiedene Stellen untersucht werden konnten) für jede Belastung gemacht werden, um ein ordentliches Resultat zu bekommen. Wir theilen sie jedoch nur im Auszug mit. Der Stoff war zu misshandelt und unhomogen, als dass man ihn für eine genaue Bestimmung hätte verwenden können. — Die spätern Reihen sind ein wenig befriedigender gewesen, desshalb waren so mühsame Vorsichten nicht nothwendig.

Wenn man die elastischen Biegungen auf die bezüglichen Richtungen aufträgt, so bekommt man eine Kurve, welche mindestens vierten Grades zu sein scheint (Taf. III. Fig. 4). Sie ist symmetrisch in Bezug auf die Symmetrieebene (010); begreiflicherweise, da es nicht möglich ist, bei seitlich nicht ausgebildeten Krystallen Rechts und Links zu unterscheiden. Es wurden jedoch von demselben Stück — natürlich ohne es zu wenden — Lamellen in symmetrischen Richtungen in Bezug auf die oben erwähnte Ebene hergestellt.

Nur das Minimum also fällt mit einer optischen Axe zusammen und zwar senkrecht zur Symmetrieebene (010). Daraus hätte man über das räthselhafte System des Glimmers etwas schliessen können, wenn das Verhältniss zwischen Elasticität und optischer Elasticität festgesetzt wäre. Bis jetzt ist dies aber noch nicht ermittelt.

Die verschiedenen Reihen geben für die extremen Werthe folgende Verhältnisse:

Richtung [1])	A.	B.	D.	E.
0°a	1,1302	1,0808	1,0774	1,0650
45°a	1	1	1	1
90°a	1,0876	1,0204	1,0292	1,0098

Allerdings keine sehr grosse Uebereinstimmung. Der Elasticitätscoefficient nach 45°a beträgt 17 120 100 Gramm.

1) Unter a ist die Ebene (100) der optischen Axen gemeint.

ANHANG.

Tabelle I (Gyps von Aschersleben).

Im Folgenden sind die elastischen Biegungen der Lamellen mitgetheilt; für jede einzelne ist die Dicke und das Gewicht, auf welches alle übrigen reducirt sind, gegeben. Die erste Spalte gibt die angenäherte Richtung der Axe der Lamelle an. Die nächstfolgende enthält die durch das Oculargoniometer gemessenen Winkel der Längsaxen mit dem faserigen Bruch. Die sechste Spalte zeigt die Mittel der Biegungen für vier verschiedene Stellungen — Zeichen oben rechts, u. r., o. l., u. l. — dann ist das Mittel auf die mittlere Dicke und 1 Gramm reducirt. Und endlich in der letzten sind aus den Beobachtungen die Biegungen bezeichnet, welche den in der ersten Spalte angegebenen krystallographischen Richtungen entsprechen.

Die Biegungen sind in Hundertsteln eines Intervalls des Glasmikrometers, dessen Werth gleich $0{,}009731769^{\text{Mm.}}$ ist.

Die mittlere Dicke ist $0{,}34593^{\text{Mm.}}$.

Die Länge betrug $50{,}025^{\text{Mm.}}$

Breite 15

Die

Tabelle II.

bezieht sich auf den Gyps von Montmartre. Dimensionen wie oben.

Tabelle III.

Glimmer. Jede Reihe ist aus einer und derselben

dünnen Tafel herausgeschnitten. Die Lamellen haben somit hier noch die Dicke gemein. Die Biegungen sind ebenfalls in Hundertsteln eines Intervalls des Glasmikrometers gegeben, ausser in der Reihe A und den letzten zwei Lamellen, wo sie in Fünfzigsteln par. Lin. ausgedrückt sind. Die letzte Spalte enthält in zehntausendsteln Millim. die auf die mittlere Dicke $\overset{\text{Mm.}}{0{,}17714}$ und 1 Gramm reducirten Biegungen.

Gyps von Aschersleben.

Nr.	Gruppe.	Richtung.	Dicke in Millim.	Gewicht.	Biegungen.				Mittel.	Reducirt auf die mittlere Dicke u. 1 Gr.	Verhältnisse.
					Z. o. r.	Z. u. r.	Z. o. l.	Z. u. l.			
1			0,^{m}3953	15	1080	1085	1085	1057	1077	107,47	
2	∥ t	0°	0, 35997	20	1913	1902	1904	1905	1905,93	107,37	107,321
3			0, 3466	20	2130	2127	2130	2123	2127,7	107,12	
4		16°7′	0, 3960	30	1780	1790	1788	1786	1785,8	89,29	
5	∥ OML.	16°20′,8	0, 4647	50	1882	1884	1882	1887	1883,67	91,32	90,512
6		18°26′	0, 4266	50	2375	2377	2360	2375	2371,9	88,96	
7		18°31′	0, 2937	15	2149	2135	2147	2143	2143,67	87,48	
8		28°20′	0, 3435	25	1945	1937	1950	1930	1937,92	75,5	
9	⊥ d	28°24′	0, 3507	20	1521	1523	1523	1520	1521,7	79,28	76,221
10		28°41′	0, 376	30	1760	1724	1738	1778	1750,1	74,92	
11		29°13′,6	0, 3639	30	1948	1937	1961	1944	1947,4	75,58	
12		38°30′	0, 3423	30	2051	2062	2058	2045	2056,2	66,43	
13	⊥ τ	39°38′	0, 2563	10	1591	1592	1600	1586	1592	64,72	66,026
14		41°4′,8	0, 2493	10	1682	1685	1684	1689	1684,8	63,08	
15	⊥ ε	45°1′,3	0, 3422	30	1939	1914	1936	1908	1924,09	62,08	61,51

Nr.	Gruppe.	Richtung.	Dicke in Millim.	Gewicht.	Biegungen.				Mittel.	Reducirt auf die mittlere Dicke u. 1 Gr.	Verhältnisse.
					Z. o. r.	Z. o. r.	Z. o. l.	Z. u. l.			
16		48°26′,5	0,‴2495	10	1600	1604	1599	1596	1600	60,04	
17	⊥ ε	48°52′	0, 36397	30	1546	1539	1542	1537	1541,4	59,84	61,51
18		49°14′	0, 3757	40	1927	1911	1940	1894	1918,4	61,43	
[Minimum (ber.)	. .	51°40′	. . .	. .	. .	. .	. .	. .	. . .	. . .	58,38]
19		57°19′,6	0, 3421	30	1862	1857	1864	1868	1862,7	60,05	
20	⊥ c	58°51′	0, 2288	10	2069	2076	2063	2072	2070,8	59,94	59,84
21		58°57′	0, 2285	10	2057	2052	2059	2051	2055	59,22	
22		65°40′	0, 2818	15	1721	1732	1737	1733	1731,9	62,43	
23		65°45′	0, 3414	30	1919	1942	1926	1937	1930,9	61,86	
24	∥ a	66°1′	0, 3797	30	1410	1406	1414	1409	1410,2	62,14	62,337
25		66°6′	0, 3648	30	1563	1569	1574	1571	1567,8	61,3	
26		75°13′	0, 3805	30	1565	1575	1566	1567	1568	69,85	
27		75°40′	0, 3751	40	2159	2187	2157	2191	2166	69,05	
28	⊥ β	76°14′,6	0, 3635	30	1801	1808	1810	1806	1806,33	69,83	69,699
29		76°27′	0, 3638	30	1796	1807	1798	1816	1804,17	69,96	
30		88°36′	0, 4370	40	1776	1774	1770	1779	1774,93	87,64	
31		89°34′	0, 3618	20	1615	1601	1604	1603	1607,22	91,97	

Nr.	Gruppe.	Richtung.	Dicke in Millim.	Gewicht.	Biegungen.				Mittel.	Reducirt auf die mittlere Dicke u. 1 Gr.	Verhältnisse.
					Z. o. r.	Z. o. r.	Z. o. l.	Z. u. l.			
32	⊥ t	89°45',6	0,m2735	10	1848	1840	1843	1860	1849,1	91,42	94,581
33		92°	0, 4847	50	1933	1957	1948	1957	1947,9	107,16	
34		105°15'	0, 4204	20	1477	1495	1487	1495	1488,3	133,56	
35		105°45'	0, 361	15	1766	1759	1746	1755	1759,1	133,3	
36	∥ OSL	106°47'	0, 3561	15	1856	1841	1841	1840	1845,5	134,24	134,052
37		107°	0, 2455	5	1906	1902	1901	1903	1902,88	135,99	
38		107°24'	0, 4168	20	1558	1566	1568	1562	1563	136,25	
39		117°26'	0, 3012	10	2506	2506	2503	2502	2504,86	165,34	
40		118°12'	0, 2827	5	1429	1433	1438	1440	1438	156,58	
41		118°20'	0, 3956	20	2111	2117	2097	2114	2109,1	161,42	
42		118°25'	0, 3825	20	2799	2828	2810	2802	2808,5	161,6	
43		118°37'	0, 4971	30	1684	1662	1692	1657	1674,4	165,6	
44	∥ d	118°44'	0, 361	20	2800	2805	2806	2804	2803,75	159,3	161,668
45		118°47'	0, 4166	20	1890	1889	1884	1892	1889,05	165,23	
46		118°51'	0, 2782	5	1458	1453	1455	1460	1456,6	151,6	
47		119°8'	0, 285	5	1454	1447	1455	1456	1453,2	162,52	
48		119°19'	0, 4814	50	3238	3268	3253	3243	3253,64	175,3	
49		119°35'	0, 2928	7	1817	1821	1821	1813	1818,08	157,49	
50		119°46'	0, 348	10	1579	1579	1580	1585	1581	160,95	

Nr.	Gruppe.	Richtung.	Dicke in Millim.	Gewicht.	Biegungen.				Mittel.	Reducirt auf die mittlere Dicke u. 1 Gr.	Verhältnisse.
					Z. o. r.	Z. u. r.	Z. o. l.	Z. u. l.			
51		128°21′	0,m4209	20	1846	1849	1847	1846	1847,08	166,34	
52	∥ τ	128°25′	0, 3528	15	2349	2355	2341	2362	2350,5	166,22	165,85
53		128°29′	0, 4627	30	2109	2104	2100	2107	2105,58	167,92	
54		128°48′	0, 2950	10	2746	2743	2747	2748	2745,9	170,36	
55		130°22′	0, 2561	5	1942	1956	1953	1955	1951,6	158,46	
[Maxim. (ber.)	. .	134°25′	. . .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	168,4]
56		136°7′	0, 293	10	2847	2839	2853	2848	2847,16	173,09	
57	∥ ε	138°52′	0, 2901	10	2793	2787	2810	2796	2792,76	164,7	165,391
58[1])		139°21′	0, 30484	15	3443	3449	3483	3463	3465,2	158,08	
59	∥ c	148°59′	0, 374	20	2314	2307	2307	2297	2305,2	147,72	150,420
60		155°3′	0, 28237	7	1777	1774	1775	1773	1774,9	134,78	
61		156°5′	0, 45686	25	1962	1948	1952	1952	1951,7	136,61	135,228
62	– a	157°2′	0, 2849	5	1226	1228	1231	1232	1229,6	136,37	
63		157°43′	0, 35957	20	2355	2338	2339	2337	2342,4	131,52	
64		165°56′,2	0, 3599	20	2197	2197	2197	2183	2194,4	123,59	
65	∥ β	166°5′	0, 4209	30	2082	2078	2065	2067	2073	124,46	124,274
66		166°30′	0, 2786	10	2313	2310	2312	2305	2310,5	120,69	
67		167°33′	0, 4325	50	3205	3217	3217	3230	3217,4	125,75	

1) Für diese Lamelle ist wegen eines Sprungs nach dem Faserigen, welcher sie durchsetzte, eine andere Länge 40,m2 gewählt worden.

Tabelle II.

Gyps von Montmartre.

Nr.	Gruppe.	Richtung.	Dicke.	Gewicht.	Biegungen.				Mittel.	Reducirt.
					Z. o. r.	u. r.	o. l.	u. l.		
1	‖ OSL	106°46′	0,m3381	10	1439	1433	1437	1428	1434,15	133,85
2		107°58′	0, 3417	10	1423	1423	1427	1421	1422,5	137,18
3		119°12′	0, 2734	4	1313	1324	1317	1313	1316,1	162,42
4	‖ d	119°40′	0, 33616	7	1280	1276	1271	1288	1278,75	167,63
5		119°44′	0, 2692	4	1360	1358	1372	1384	1369,3	161,39
6		128°18′	0, 2436	3	1411	1410	1406	1412	1409,5	163,98
7	‖ τ	128°57′	0, 2743	4	1295	1301	1293	1295	1295,7	161,42
8		129°45′	0, 3299	7	1311	1316	1314	1319	1315,25	163,08

Tabelle III.

Glimmer.

Reihe E. (die Biegungen in 0,^{mm}0000973118. Dimensionen: Länge 50^{mm}025. Breite 15^{mm}. Dicke 0^{mm}19359. Belastung 8 Gramm.

Nr.	Richtung.	Biegungen.				Mittel.	Auf die mittlere Dicke und 1 Gramm Gewicht in zehntausendsteln Mm.
		Z. o. r.	u. r.	o. l.	u. l.		
8	0°a	1525	1497	1513	1495	1504,7	283,83
9	15°a	1467	1472	1482	1475	1474,4	234,00
10	30°a	1423	1410	1425	1416	1418,7	225,19
11	45°a	1385	1400	1397	1395	1394,4	221,33
12	135°a	1389	1391	1382	1397	1390	220,63
13	60°a	1420	1417	1405	1402	1411,7	224,07
14	75°a	1412,5	1405	1410	1412,5	1410	223,80
15	90°a	1410	1427	1417	1427	1420,6	225,39

Reihe A. (die Biegungen in 50^{el} Pariser Linie). Dimensionen: Länge $50,^{mm}025$. Breite 15^{mm}. Dicke $0,^{mm}1615$. Belastung 10 Gramm.

Nr.	Richtung.	Biegungen.				Mittel.	F. die mittlere Dicke und 1 Gr. in zehntausendsteln Mm. ausgedrückt.
		Z. o. r.	u. r.	o. l.	u. l.		
1	0°a	7,420	7,288	7,544	7,318	7,380	252,15
2	15° mit a	7,201	7,330	7,204	7,360	7,266	248,43
3	30° »	6,730	6,830	6,870	6,850	6,830	233,45
4	45° »	6,447	6,594	6,527	6,509	6,530	215,47
5	60° »	6,752	6,800	6,820	6,700	6,756	230,92
6	75° »	6,945	7,054	6,890	7,082	6,990	238,17
7	90° »	7,106	7,096	7,120	7,086	7,102	242,75

Nr.	Richtung.	Dicke.	Gewicht.	Biegungen in 50^{el} Linie.				Mittel.	Auf die mittlere Dicke und 1 Gramm in zehntausendsteln Millim.
				Z. o. r.	u. r.	o. l.	u. l.		
23	‖ a	$0,^{m}1951$	10 Gr.	4,286	4,180	4,190	4,237	4,229	254,75
24	90°a	0, 1954	»	3,958	4,031	3,921	4,067	3,9931	241,82

Reihe D. (die Biegungen in 0,^{mm}000097318). Dimensionen: Länge 50,^{mm}025. Breite 15^{mm}. Dicke 0^{mm}17034. Belastung 5 Gramm.

Nr.	Richtung.	Biegungen.				Mittel.	Auf die mittlere Dicke und 1 Gramm in zehntausendsteln Millim.
		Z. o. r.	u. r.	o. l.	u. l.		
16	0°a	1395	1362	1405	1365	1381,8	239,06
17	45°a	1282	1292	1273	1277	1282,59	221,90
18	60°a	1297	1293	1297	1287	1293,42	223,77
19	90°a	1315	1322	1324	1320	1320,03	228,38

Reihe B. (Biegungen in 0,^{mm}000097318). Dimensionen: Länge 50,^{mm}025. Breite 15^{mm}. Dicke 0,^{mm}15305. Belastung 5 Gramm.

Nr.	Richtung.	Biegungen.				Mittel.	Auf die mittlere Dicke und 1 Gramm in zehntausendsteln Millim.
		Z. o. r.	u. r.	o. l.	u. l.		
20	0°a	1868	1817	1864	1833	1845,6	231,10
21	45°a	1735	1718	1741	1733	1733	217,00
22	90°a	1732	1780	1749	1739	1749,9	219,12

ERKLÄRUNG DER TAFELN.

Tafel I. Fig. 1. Steinsalztäfelchen.

Fig. 2. Apparat für die Abschiebefestigkeit des Steinsalzes; s das Steinsalztäfelchen zwischen den Platten aa befestigt.

Fig. 3. Apparat zur Messung der elastischen Biegungen. Die Stützen aa befinden sich auf den Schienen bb; d die Drehaxe des Doppelhebels h, c die excentrische Scheibe, auf welcher das Ende von h ruht; e das Mikroskop.

Fig. 4. Das in einen Bügel gefasste Stahlstäbchen, welches das Glasmikrometer a trägt.

Tafel II. Fig. 1. Gypskrystall mit inneren Flächen. Sehr schön zeigt dieses Stück die Flächen λ (230) und n (111).

Fig. 2. Die an weichen Stellen auf dem Gyps durch Druck entstehenden Knickfiguren. Man sieht die Richtungen ‖ a und zu d.

Fig. 3. Ein Krystall bei welchem obige 2 Biegungsrichtungen natürlich vorkommen.

Fig. 4. Aetzfiguren auf einer natürlichen Fläche d (111), durch Hängen in verdünnter Salzsäure erhalten. (Die fragliche Fläche liegt horizontal und die Säule f (110) fällt vorn.) Wie man sieht, es ist gar keine Regelmässigkeit vorhanden.

Fig. 5. Eine aus einem runden Loch entstandene Lösungsfigur am Gyps, fünfmal vergrössert. Die Gruppe a zeigt ungefähr die Gestalten, welche die gewöhnlichen Aetzfiguren annehmen.

Fig. 6. Lösungsgeschwindigkeitsverhältnisse. Die vergrösserte Figur zeigt die Verhältnisse der Abstände vor dem Eintauchen.

Fig. 7. Aetzfiguren am Glimmer.

Tafel III. Fig. 1. Stereographische Projektion auf der Symmetrieebene der hauptsächlichsten Flächen des Gypses: in der Hauptsache nach Hessenberg, Abhandlung der Senckenberg. Gesell. VIII. p. 30.

Es sind l (111) und n ($\bar{1}11$) als Oktaëder angenommen und die Winkel

$$ac = 81°5'18''$$
$$ad = 52°30'12''$$
$$af = 34°15'$$
$$cv = 22°19'25''$$
$$\bar{a}t = 66°14'$$

zn Grunde gelegt worden.

π (7211) ist vielleicht eine hypothetische Fläche, welche, wie man sieht, in den Zonen [βn] und [tl] sich befindet. Herr Reusch hat sie am Gyps von Bologna gesehen.

Um die Figur nicht zu überladen, sind nicht alle Zonenkreise vollständig aufgetragen.

Fig. 2. Härtecurve nach Exner. Wenn man für die Berechnung der Härteconstanten bloss M und T in Betracht zieht, bekommt man negative Werthe i. e. hier imaginäres. Etwas bessere Resultate ergeben sich, wenn man auch β in Betracht zieht und diejenigen Werthe wählt, welche einer Spaltfläche entsprechen, denn diese scheinen überhaupt die sichersten Richtungen zu sein. Wie man sieht aber sind leider weder M noch β genau angegeben.

Fig. 3. Die Biegungscurve am Gyps.

Fig. 4. Die Biegungscurve am Glimmer.

INHALTS-VERZEICHNISS.

Seite

Einleitung 1
Abschiebefestigkeit des Steinsalzes 3
Versuche von Savart, Voigt, Baumgarten, Groth 4
Gyps 8
Innere Flächen 9
Identität derselben mit den äusseren 10
Theorieen der Krystallstruktur 10
Bildung der Krystallflächen 12
Erläuternde Beispiele 14
Folgerung 15
Arragonit 16
Cohäsion des Gypses 17
Bruch β 18
Knickungen 19
Härteverhältnisse im Gyps 21
Aetzfiguren im Gyps 21
Die Begrenzungsrichtungen der Aezfiguren sind durch die darauf senkrechten Richtungen des grössten Lösungswiderstands bedingt 23
Erzeugung der Aetzfiguren. — Sind Begrenzungsflächen vorhanden? 24
Elasticität im Gyps 26
Herstellung der Lamellen 28
Apparat zur Messung der elastischen Biegung 29
Untersuchte Richtungen 31
Verhältniss zwischen Cohäsion und Elasticität 33
Biegungscurve im Gyps 33
Glimmer 35
Aetzfiguren desselben 36
Keine Aetzflächen vorhanden 39
Biegungscurve 40
Anhang, die Resultate der Beobachtungen enthaltend 42

Taf. I.

Fig. 2.

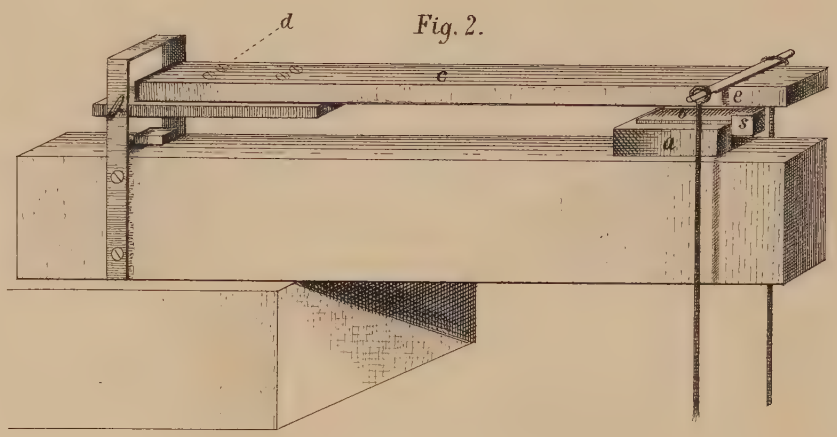


Fig. 1.

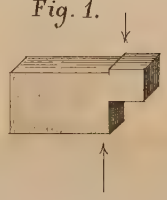


Fig. 4.

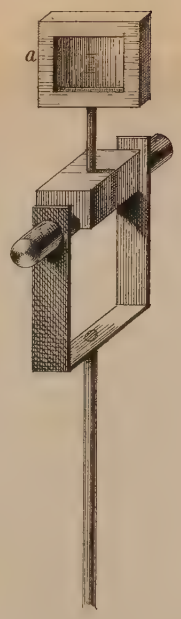
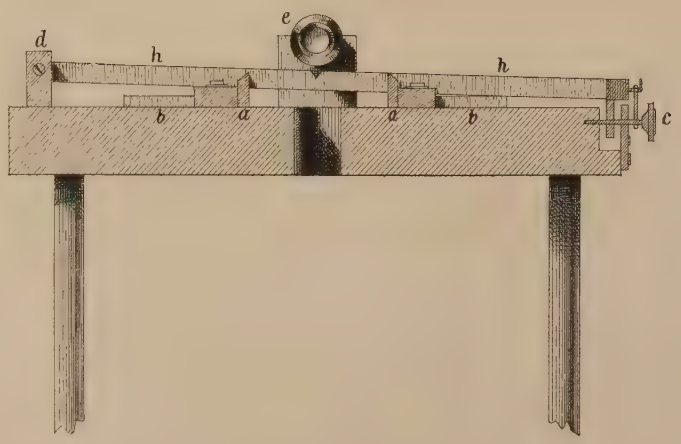


Fig. 3.



Taf. II.

Fig. 1.

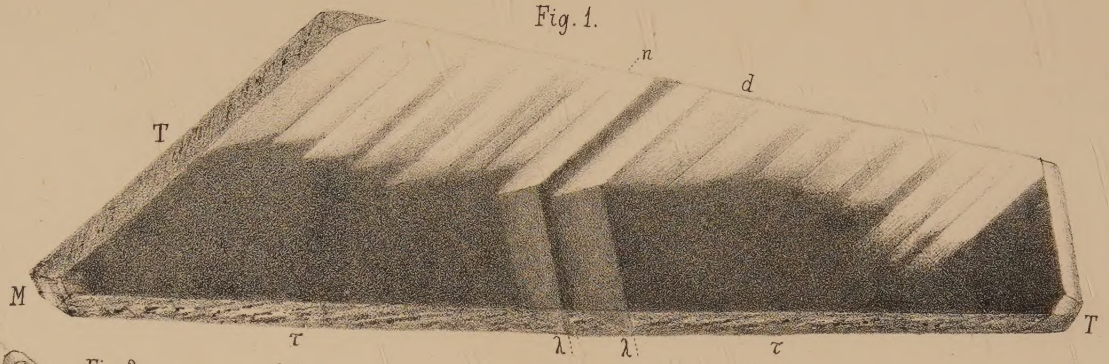


Fig. 2.

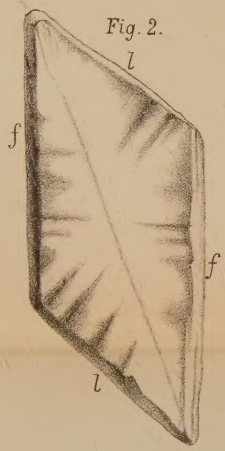


Fig. 3.

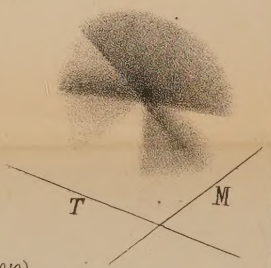


Fig. 4.

Fig. 6.

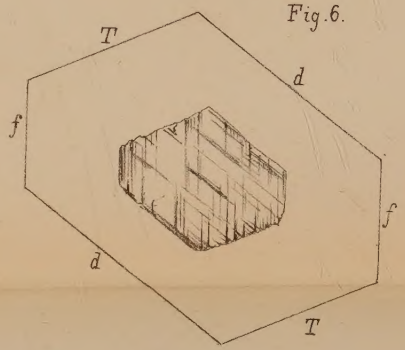


Fig. 5.

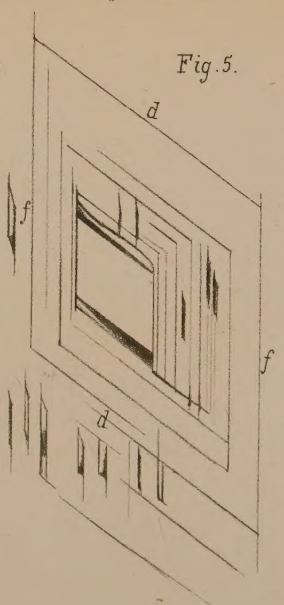
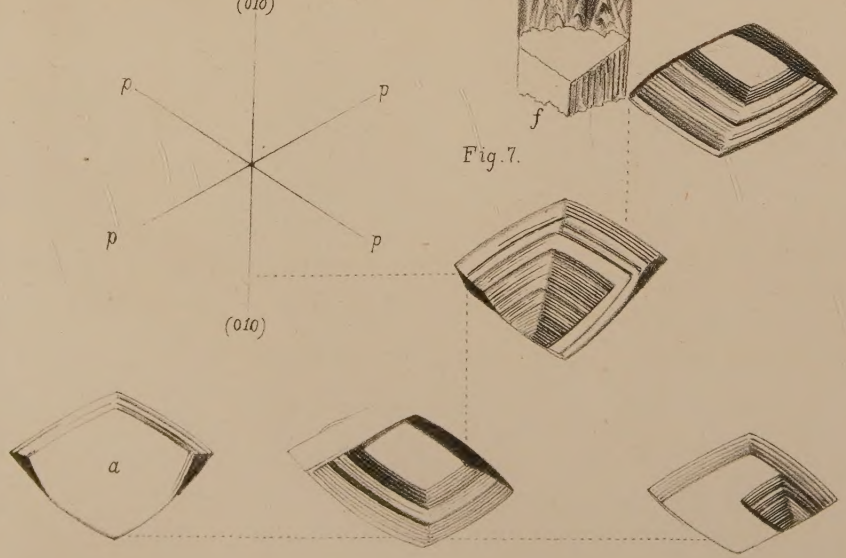


Fig. 7.



lith. v. Baumann, Tübingen.

Taf. III.

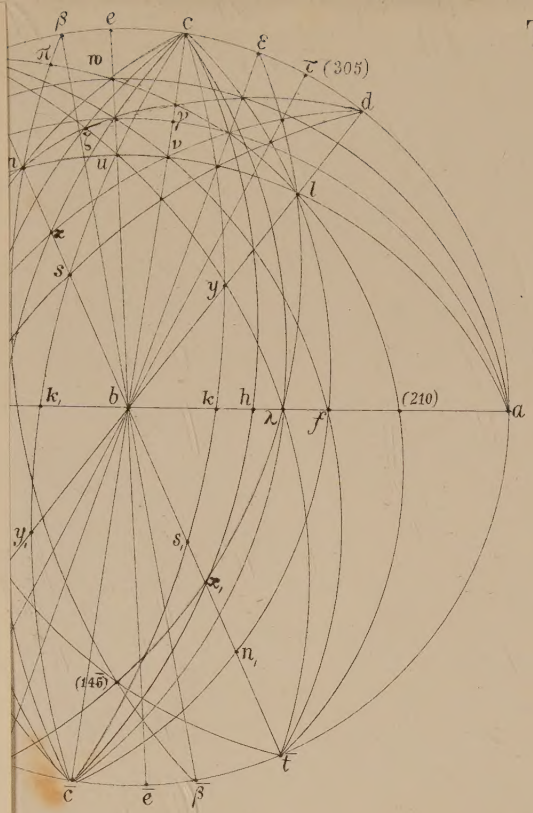
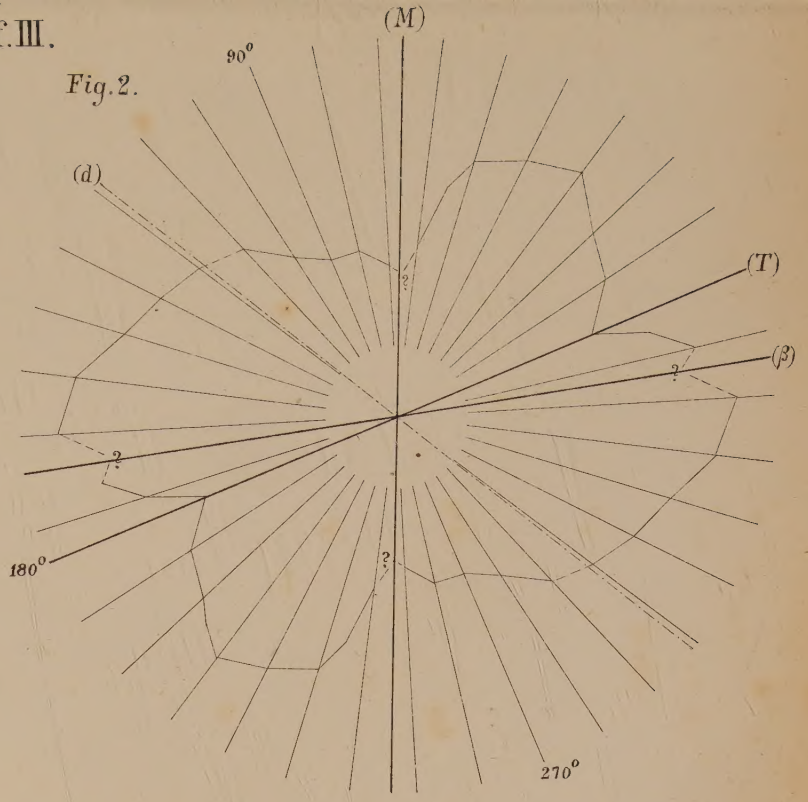


Fig. 2.



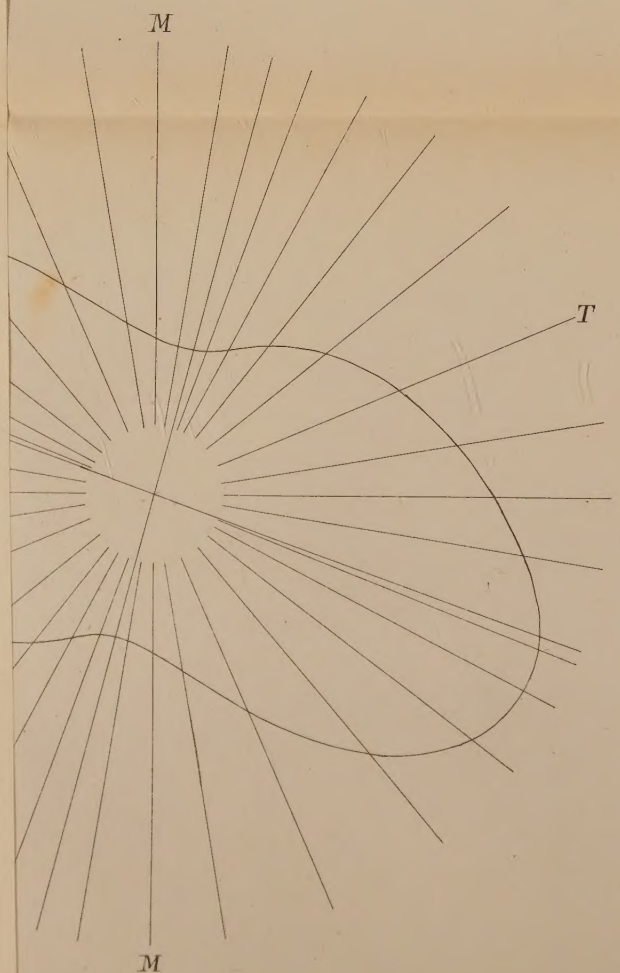
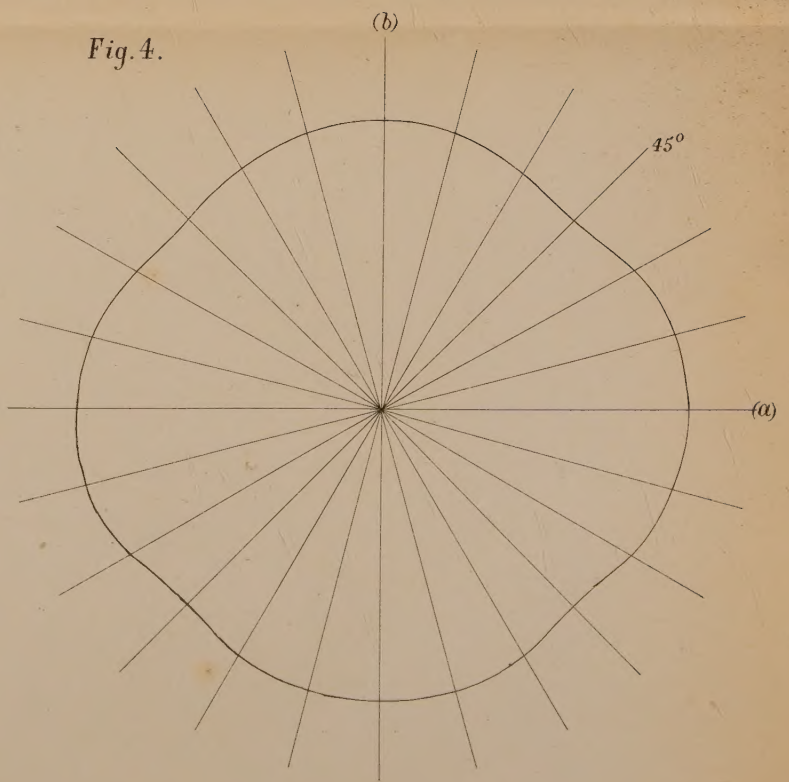



Fig. 4.